



**TUGAS AKHIR - TE 145561**

**RANCANG BANGUN KULKAS *PORTABLE*  
MENGUNAKAN TERMOELEKTRIK BERBASIS  
MIKROKONTROLER**

Restu Maulana Ilham  
NRP 2213039015  
Aji Dwi Pebrianto  
NRP 2213039024

Dosen Pembimbing  
Harris Pirngadi  
Agus Suhanto, S.Pd.

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016





**FINAL PROJECT - TE 145561**

**FRIDGE PORTABLE DESIGN USING  
MICROCONTROLLER THERMOELECTRIC**

Restu Maulana Ilham  
NRP 2213039015  
Aji Dwi Pebrianto  
NRP 2213039024

Advisor  
Harris Pirngadi  
Agus Suhanto, S.Pd.

ELECTRICAL ENGINEERING D3 STUDY PROGRAM  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

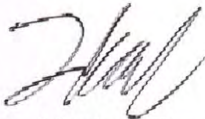


## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir kami dengan judul "**Rancang Bangun Kulkas Portable Menggunakan Termoelektrik Berbasis Mikrokontroler**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, kami bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.



Restu Maulana Ilham  
NRP 2213039015

Surabaya, 1 Juni 2016



Aji Dwi Pebrianto  
NRP 2213039024

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# **RANCANG BANGUN KULKAS *PORTABLE* MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik  
Pada  
Bidang Studi Elektro Industri  
Program Studi D3 Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II

Agus Suhanto. S.Pd  
NIP. 19850501 201101 1 008

**SURABAYA  
JUNI, 2016**

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Aji Dwi Pebrianto  
Nrp. : 2213032024  
Jurusan / Fak. : D3 Teknik Elektro / FTI  
Alamat kontak : Jl. Keputih Ag. Ihs no. 11  
a. Email : aji.dwi.pebrianto@gmail.com  
b. Telp/HP : 085 236 425 246

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Rancangan Bangun Kulkas Portable Menggunakan Termodinamika Berbasis Mikrokontroler

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dosen Pembimbing 1

Nur Huda Nur Hafid

NIP. 19620510 198903 1 001

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 29 Juni 2016

Yang menyatakan,

Aji Dwi Pebrianto

Nrp. 2213032024

**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.



## **RANCANG BANGUN KULKAS *PORTABLE* MENGGUNAKAN TERMoeLEKTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER**

**Nama Mahasiswa : Restu Maulana Ilham**  
**NRP : 2213 039 015**  
**Nama Mahasiswa : Aji Dwi Pebrianto**  
**NRP : 2213 039 024**  
**Dosen Pembimbing 1 : Harris Pirngadi**  
**NIP : 19620510 198903 1 001**  
**Dosen Pembimbing 2 : Agus Suhanto, S.Pd.**  
**NIP : 19850501 201101 1 008**

### **ABSTRAK**

Sering terjadinya kelelahan terutama saat mengemudi di perjalanan jauh salah satunya disebabkan oleh kekurangan cairan tubuh atau dehidrasi. Kekurangan cairan ini disebabkan salah satunya pengemudi sulit memperoleh minuman segar atau dingin.

Berdasarkan kasus diatas dibuat Kulkas portabel. Alat ini tidak menggunakan gas Freon melainkan termoelektrik yang mengubah energi listrik menjadi energi panas dan dingin, nantinya energi dingin dari termoelektrik di manfaatkan untuk mendinginkan minuman. Alat ini menggunakan beberapa rangkaian driver, mikrokontroler, dan sensor suhu agar termoelektrik menghasilkan suhu dingin sesuai kebutuhan. Kulkas *Portable* ini di desain dengan 2 sumber dari PLN 220VAC, dan 12VDC (aki mobil). Karena kulkas ini *Portable* berarti bisa dibawa dengan mudah maka dapat digunakan atau dipasang pada kendaraan roda empat, yang akan berguna bila digunakan saat perjalanan jauh atau saat cuaca panas.

Dengan beberapa pengujian yang telah dilakukan baik pengujian secara mekanik maupun elektrik, kulkas *portable* ini mampu mencapai suhu 19,9 °C setelah 75 menit dan suhu akan terus turun jika dinyalakan dalam waktu lebih lama.

**Kata Kunci :** Termoelektrik, Kulkas *Portable*, Mikrokontroler

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## ***FRIDGE PORTABLE DESIGN USING MICROCONTROLLER THERMOELECTRIC***

***Student Name*** : Restu Maulana Ilham  
***ID Number*** : 2213 039 015  
***Student Name*** : Aji Dwi Pebrianto  
***ID Number*** : 2213 039 024  
***Advisor I*** : Harris Pirngadi  
***ID Number*** : 19620510 198903 1 001  
***Advisor II*** : Agus Suhanto, S.Pd.  
***ID Number*** : 19850501 201101 1 008

### ***ABSTRACT***

*Frequent occurrence of fatigue, especially when driving on long trips one of which is caused by lack of body fluids or dehydration. This fluid deficiency caused one driver is difficult to obtain fresh or chilled beverages.*

*Based on the above cases created a portable refrigerator. This tool does not use freon gas but thermoelectrically that converts electrical energy into heat energy and cold, cold from thermoelectrically energy will be utilized to cool drinks. This tool uses a series of power electronics, microcontroller, and a temperature sensor in order to thermoelectrically generate cold temperatures as needed. Portable refrigerator is designed with two sources of PLN 220VAC and 12VDC (car battery). Because this refrigerator portable, meaning it can be transported easily be used or installed on a four-wheeled vehicle, which would be useful to use when traveling far away or during hot weather.*

*With some testing that was done either mechanically or electrically testing, portable refrigerator is capable of achieving a temperature of 19.9° C after 75 minutes and the temperature will continue to fall if turned in a longer time.*

***Keywords*** : Thermoelektric, Portable Refrigerator, Microcontroller.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta Salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Diploma-3 pada Bidang Studi Teknik Elektro Industri, Jurusan D3 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

### **RANCANG BANGUN KULKAS *PORTABLE* MENGGUNAKAN TERMoeLEKTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER**

Dalam Tugas Akhir ini dirancang Kulkas *Portable* yang pendinginnya menggunakan termoelektrik yang kemudian dikontrol suhunya menggunakan Mikrokontroler.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan Bapak penulis yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Harris Pirngadi, dan Bapak Agus Suhanto, S.Pd atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 1 Juni 2016

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Laporan.....	2
1.7 Relevansi.....	3
BAB II TEORI DASAR.....	5
2.1 Efek Termoelektrik[12].....	5
2.2 Elemen Peltier.....	6
2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik[11].....	7
2.4 Bahan Termoelektrik.....	13
2.5 Kinerja Modul Termoelektrik[11].....	13
2.6 Heatsink[14].....	18
2.7 Styrofoam[13].....	19
2.8 Arduino[1].....	21
2.9 LM 35.....	22
2.9.2 Konfigurasi Pin LM35.....	24
2.10 Optocoupler [3].....	24
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	27

3.1 Konfigurasi Sistem .....	28
3.2 Perancangan Mekanik .....	28
3.3 Perhitungan – Perhitungan dalam Perencanaan Kulkas <i>Portable</i> .....	30
3.3.1 Perhitungan Beban Kulkas <i>Portable</i> .....	30
3.3.2 Perhitungan Laju kalor Pada Heatsink .....	32
3.3.3 Perhitungan Suhu dan Kecepatan Pendinginan .....	34
3.4 Perancangan Elektrik .....	36
3.4.1 Perancangan Rangkaian Kontrol .....	36
BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA DATA .....	39
4.1 Pengujian LM 35 .....	39
4.2 Pengujian Suhu .....	41
BAB V PENUTUP .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	51



## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 4.1	Data tegangan LM35.....40
Tabel 4.2	Data pengujian seperti gambar 4.2.....42
Tabel 4.3	Data pengujian suhu di dalam <i>Box</i> .....44
Tabel 4.4	Data pengujian suhu peltier dan Heatsink pada rancangan <i>box</i> .....47

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1	Eksperimen yang menunjukkan efek seeback dan peltier...5
Gambar 2.2	Elemen peltier .....6
Gambar 2.3	Struktur elemen peltier.....7
Gambar 2.4	Model rangkaian modul termoelektrik .....7
Gambar 2.5	Skema siklus ideal kompresi uap .....8
Gambar 2.6	Rangkaian mesin pendingin termoelektrik.....9
Gambar 2.7	Arah aliran elektron pada semikonduktor tipe N .....10
Gambar 2.8	Arah aliran hole pada semikonduktor tipe P .....10
Gambar 2.9	Rangkaian seri modul termoelektrik dengan semikonduktor tunggal.....11
Gambar 2.10	Rangkaian seri Zigzag modul TEC semikonduktor .....11
Gambar 2.11	Modul termoelektrik semikonduktor ganda .....12
Gambar 2.12	Rangkaian seri modul termoelektrik semikonduktor ganda.....12
Gambar 2.13	Perpindahan kalor pada termoelektrik .....14
Gambar 2.14	Kesetimbangan energi pada termoelektrik pendinginn...17
Gambar 2.15	Heatsink .....18
Gambar 2.16	Styrofoam .....19
Gambar 2.17	Arduino Uno .....22
Gambar 2.18	LM 35 <i>Basic Temperature Sensor</i> .....23
Gambar 2.19	Konfigurasi LM 35 .....24
Gambar 3.1	Blok Fungsional Sistem .....28
Gambar 3.2	Skema Perancangan .....29
Gambar 3.3	Perancangan Mekanik Kulkas <i>Portable</i> .....35
Gambar 3.4	Rangkaian <i>Driver</i> untuk kipas .....37
Gambar 4.1	Proses pengujian sensor LM35 .....39
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian sensor LM 35.....40
Gambar 4.3	Proses pengujian suhu seperti gambar di atas .....41
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengujian Seperti Pada Gambar 4.3 .....43
Gambar 4.5	Proses Pengujian Suhu Dalam <i>Box</i> .....43
Gambar 4.6	Grafik Hasil Pengujian Suhu Dalam <i>Box</i> .....46
Gambar 4.7	Grafik Hasil Pengujian Arus Dalam <i>Box</i> .....46

**-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat cuaca panas ketika melakukan perjalanan yang jauh tempatnya dengan mengemudikan kendaraan mobil sering alami rasa haus. Kemudian butuh minuman – minuman dingin yang mana minuman tersebut kadang sulit diperoleh saat melakukan perjalanan jauh tersebut. Untuk memperolehnya harus menemukan toko atau penjual minuman dingin disekitar perjalanan yang ditempuh dan membeli minumannya, lalu apa yang akan terjadi bila tidak menemukannya? Maka, pada kondisi yang demikian, dibutuhkan membuat Kulkas *Portable* yang bisa digunakan di dalam kendaraan, agar bisa menyimpan dan menikmati minuman dingin tanpa harus mencari toko atau penjual dan membeli minumannya saat perjalanan.

Kulkas pada umumnya menggunakan bahan dasar freon yang ada di dalam kompresor, kompresor merupakan salah satu komponen utama dalam proses pendinginan kulkas, untuk menjalankan sebuah kompresor memerlukan daya yang cukup besar dan Freon merupakan bahan yang tidak ramah lingkungan. Selain itu penggunaan kulkas sangat terbatas terhadap tempat, besar, dan berat, karena berbagai bagian kulkas yang berat seperti motor kompresor, sehingga tidak terlalu membantu bagi orang yang melakukan perjalanan jauh saat cuaca panas.

Maka dari itu perlu direalisasikan kulkas yang tidak menggunakan bahan freon, berukuran kecil dan berat yang ringan, sehingga mudah dibawa dan bisa dinyalakan pada kendaraan mobil bagi orang yang melakukan perjalanan saat panas dan bisa ramah lingkungan. Dan hal inilah yang menjadi dasar untuk membuat tugas akhir berupa Kulkas *Portable* yang menggunakan termoelektrik agar bisa menghasilkan suhu yang dingin.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana cara merancang kulkas agar mudah dibawa dan dipakai di dalam kendaraan saat perjalanan jauh dengan daya yang kecil.

- Bagaimana cara merancang rangkaian agar termoelektrik menghasilkan suhu yang dingin..
- Bagaimana cara melakukan pemrograman sistem mikrokontroler pada Kulkas *Portable* ini untuk mengendalikan daya yang masuk pada termoelektrik.

### 1.3 Batasan Masalah

Dari perumusan masalah di atas, maka batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

Kulkas *Portable* ini hanya dapat mendinginkan minuman botol dengan ukuran maksimal 200 ml.

### 1.4 Tujuan

Tujuan kami membuat Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Memudahkan untuk membawa kulkas kemana saja.
- Merancang sistem kulkas agar bisa ramah lingkungan dan efisien.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi, yaitu, studi literatur, perancangan alat, implementasi, dan analisis data, dan yang terakhir adalah penyusunan laporan berupa buku Tugas Akhir.

Pada tahap studi literatur akan dipelajari mengenai karakteristik peltier, LM 35, cara menggunakan Arduino, bahan-bahan penahan dingin, serta solusi untuk memperoleh suhu sedingin mungkin dengan menggunakan Peltier. selanjutnya akan dilakukan tahap perancangan sesuai data yang telah didapatkan dari studi literatur. Perencanaan alat meliputi perancangan sistem power supply kulkas yang menggunakan 2 sumber, perancangan sistem kontrol suhu, dan desain pendingin *box* yang akan dijadikan kulkas. Setelah dilakukan perancangan, selanjutnya diimplementasikan pada *real plant*. Data percobaan yang telah diperoleh selanjutnya akan dianalisis. Dari hasil analisis, akan ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Tahap akhir penelitian adalah penyusunan laporan penelitian.

### 1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

**Bab I      Pendahuluan**

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

**Bab II      Teori Dasar**

Meliputi pembahasan dan teori-teori penunjang yang digunakan dalam mendukung terselesaikannya Tugas Akhir. Teori-teori yang dipakai dalam pembuatan proyek Tugas Akhir ini antara lain: Peltier, Mikrokontroler, serta Teori Penunjang lainnya..

**Bab III     Perancangan Sistem**

Membahas tentang perencanaan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari perancangan elektronik dan perancangan mekanik serta pembuatan dan perancangan perangkat lunak (*software*).

**Bab IV     Pengukuran dan Analisa Data**

Membahas tentang pengukuran, pengujian dan analisa data dari alat yang kami buat.

**Bab V      Penutup**

Menjelaskan tentang kesimpulan dari tugas akhir ini dan saran-saran untuk pengembangan alat ini lebih lanjut.

**1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi pengguna yang ingin mendinginkan minuman dengan cara yang mudah. Tugas Akhir yang kami rancang ini mampu meningkatkan efektifitas kerja alat.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

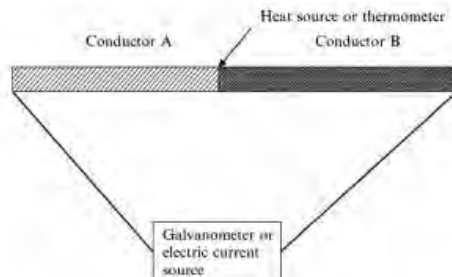


## BAB II

### TEORI DASAR

#### 2.1 Efek Termoelektrik[12]

Efek Termoelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh T. J. Seebeck. Ia menunjukkan bahwa gaya gerak listrik (ggl) dapat dihasilkan dengan memanaskan titik sambungan antara dua penghantar listrik yang berbeda. Efek Seebeck dapat didemonstrasikan dengan membuat sambungan antara dua kawat dari jenis logam yang berbeda (misalnya, tembaga dan besi). Ujung kawat lainnya dihubungkan ke galvanometer atau voltmeter yang sensitif. Jika sambungan antara kawat dipanaskan, maka alat ukur akan membaca adanya sejumlah kecil tegangan. Susunan demonstrasi ini ditunjukkan pada gambar 2.1. Dua kawat dapat dikatakan sebuah termokopel. Didapati juga bahwa besar tegangan termoelektrik sebanding dengan perbedaan suhu antara titik sambungan termokopel dan koneksinya pada alat ukur. Tiga belas tahun setelah Seebeck melakukan penemuannya, J. Peltier, seorang pembuat jam tangan, peneliti efek termoelektrik yang kedua.



**Gambar 2.1** Eksperimen yang menunjukkan efek Seebeck dan Peltier

Ia mendapati dimana arus listrik yang melalui suatu termokopel akan menghasilkan efek pemanasan atau pendinginan bergantung pada arah aliran arus listrik tersebut. Efek Peltier cukup sulit untuk didemonstrasikan menggunakan termokopel karena selalu terdapat efek pemanasan Joule yang juga muncul. Jika digunakan susunan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 barulah efek peltier dapat didemonstrasikan, pada prinsipnya, mengganti meter dengan sumber

arus searah dan menempatkan termometer kecil pada titik sambungan termokopel.

## 2.2 Elemen Peltier

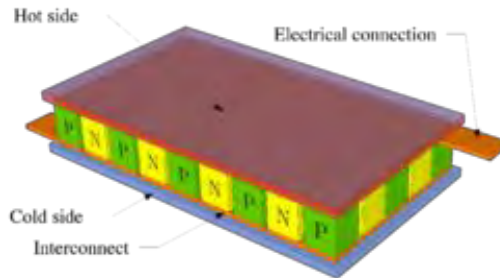
Elemen peltier atau pendingin termoelektrik (thermoelectric cooler) adalah alat yang dapat menimbulkan perbedaan suhu antara kedua sisinya jika dialiri arus listrik searah pada kedua kutub materialnya, dalam hal ini semikonduktor. Pada gambar 2.2 ditunjukkan bentuk fisik elemen peltier. Dalam hal refrigrasi, keuntungan utama dari elemen peltier adalah tidak adanya bagian yang bergerak atau cairan yang bersikulasi, dan ukurannya kecil serta bentuknya mudah direkayasa. Sedangkan kekurangannya terletak pada faktor efisiensi daya yang rendah dan biaya perancangan sistem yang masih relatif mahal. Namun, kini banyak peneliti yang sedang mencoba mengembangkan elemen peltier yang murah dan efisien.

Umumnya modul termoelektrik ini berukuran 40mmx40mm atau lebih kecil dan memiliki tebal kurang lebih 4 mm. Umur dari sebuah modul termoelektrik yang sesuai dengan standar industri adalah sekitar 100.000- 200.000 jam dan lebih dari 20 tahun jika digunakan sebagai pendingin dan dengan jumlah serta tegangan yang sesuai karakteristik dari setiap modulnya[4]

Gambar 2.3 menunjukkan elemen peltier tersusun atas serangkaian dua tipe semikonduktor (tipe-p dan tipe-n) yang dihubungkan secara seri. Pada setiap sambungan antara dua tipe semikonduktor tersebut dihubungkan dengan konduktor yang terbuat dari tembaga. Interkoneksi konduktor tersebut diletakkan masing-masing dibagian atas dan di bagian bawah semikonduktor. Konduktor bagian atas ditujukan untuk membuang kalor dan konduktor bagian bawah ditujukan untuk menyerap kalor. Pada kedua bagian interkoneksi ditempelkan pelat yang terbuat dari keramik. Pelat ini bertujuan untuk memusatkan kalor yang berasal dari konduktor.



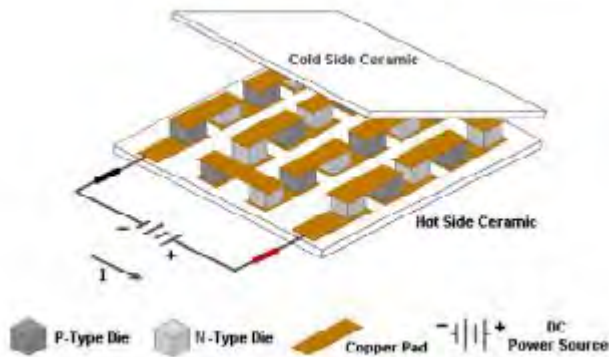
**Gambar 2.2** Elemen Peltier



**Gambar 2.3** Struktur Elemen Peltier

### 2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik[11]

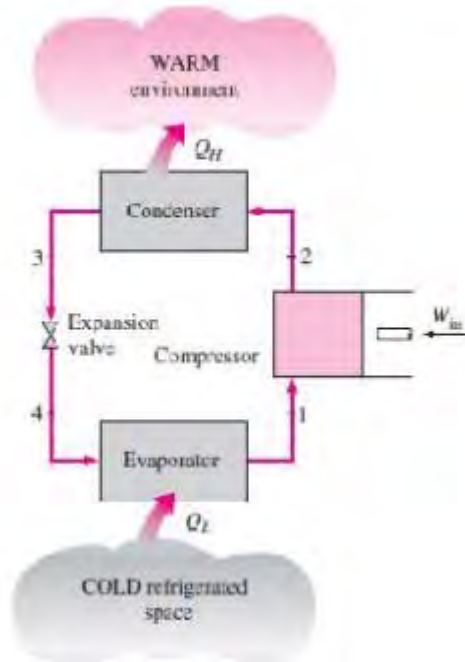
Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan efek Seebeck yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain.



**Gambar 2.4** Model rangkaian modul termoelektrik

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas

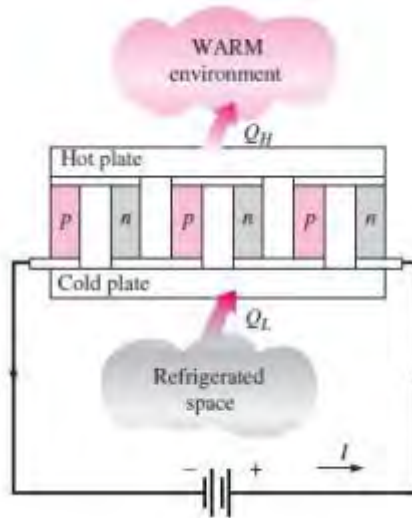
dan dingin. Dari rangkaian seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4, akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya pada mesin mesin pendingin konvensional yang siklusnya ditunjukkan pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Skema siklus ideal kompresi uap

Sebuah rangkaian pendingin termoelektrik sederhana menggunakan bahan semikonduktor ditunjukkan pada gambar 2.5. Kalor yang diserap dari daerah dingin sebesar  $Q_L$  dan kalor yang dilepas ke lingkungan sebesar  $Q_H$ . Perbedaan antara besar  $Q_H$  dan  $Q_L$  adalah besarnya daya listrik bersih yang perlu diberikan pada termoelektrik. Mesin pendingin termoelektrik saat ini tidak dapat bersaing dengan sistem pendingin kompresi uap karena COP yang rendah, tetapi termoelektrik banyak tersedia dipasaran dan bagaimanapun lebih disukai

dalam beberapa aplikasi karena memiliki ukuran kecil, simple, tidak berisik, dan sudah teruji [9].



**Gambar 2.6** Rangkaian mesin pendingin termoelektrik

Keuntungan termoelektrik dibanding teknologi pendingin aktif yang lain:

1. Biaya yang murah dan jangka waktu service yang lama.
2. Konsumsi energi yang rendah.
3. Tidak dibutuhkan skill khusus untuk instalasi dan service.
4. Ramah lingkungan dan aman.
5. Daya pendinginan dapat dikontrol dengan sangat baik

Akan tetapi kelebihan diatas ada yang bisa tidak tercapai tergantung pada situasinya. Dengan desain sistem yang bagus, kemampuan pendingin TEC dapat meningkat dua kali lipat [10].

Termoelektrik sebagai pendingin memiliki semikonduktor tipe-N yang menjadikan elektron sebagai pembawa muatan sehingga berperan sangat penting dalam menciptakan efek Peltier.



**Gambar 2.7** Arah aliran elektron pada semikonduktor tipe N

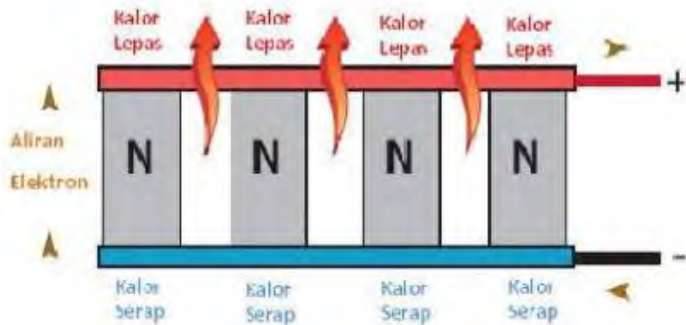
Dari sumber arus DC yang terhubung seperti pada gambar 2.7, elektron akan keluar dari kutub negatif dan akan tertarik ke arah kutub positif sehingga aliran elektron akan searah dengan jarum jam. Dengan aliran elektron yang melalui semikonduktor tipe-N, panas akan diserap pada sisi yang di bawah dan secara aktif dipindahkan ke sisi atas.

Pada termoelektrik semikonduktor tipe-P juga memiliki peranan untuk menghasilkan pembawa muatan yang dikenal dengan “hole”, yang berfungsi untuk membantu elektron untuk bergerak bebas dalam sirkuit ketika diberikan tegangan. Arus positif yang dihasilkan oleh kutub positif dari sumber DC dan tertarik ke kutub negatif. “Hole” tadi bergerak berlawanan arah dengan elektron yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-N. Sehingga semikonduktor tipe-P ini berfungsi untuk menarik panas atau kalor ke arah kutub negatif (gambar 2.8).



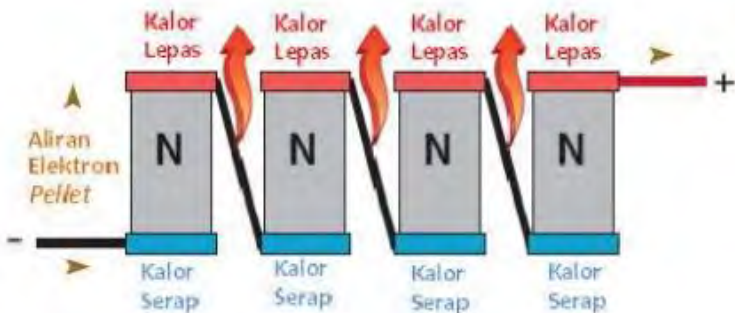
**Gambar 2.8** Arah aliran hole pada semikonduktor tipe P

Sebuah modul termoelektrik dapat disusun hanya dengan satu jenis semikonduktor saja (gambar 2.9), tetapi panas yang dihasilkan jumlahnya tidak besar. Untuk dapat menghasilkan panas dalam kapasitas yang besar dibutuhkan sebuah modul termoelektrik yang memiliki lebih dari satu jenis semikonduktor.



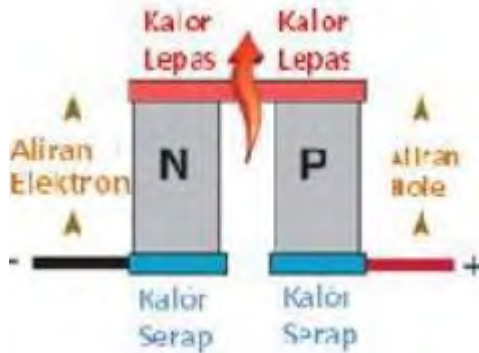
**Gambar 2.9** Rangkaian seri modul termoelektrik dengan semikonduktor tunggal

Agar susunannya tetap seri dan termal yang dihasilkan tetap paralel (memompakan panas ke arah yang sama), maka dapat dilakukan dengan menghubungkan secara zig zag semikonduktor tunggal tersebut (gambar 2.10). Secara teori pemasangan seperti pada gambar dapat dilakukan tetapi hubungan dalam antara tiap-tiap semikonduktor mengakibatkan berkurangnya prestasi dari modul termoelektrik tersebut.



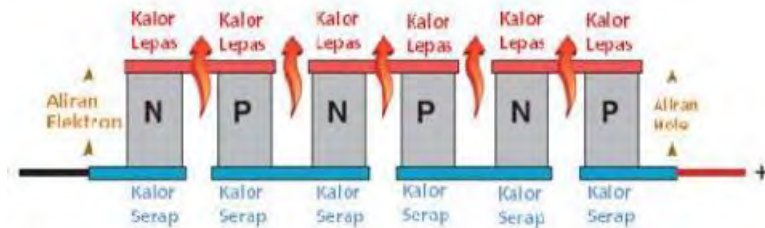
**Gambar 2.10** Rangkaian seri-zigzag modul TEC 1 semikonduktor

Penyusunan semikonduktor tipe-N dan P yang membentuk junction dan dihubungkan dengan tembaga, merupakan rangkaian modul termoelektrik saat ini.



**Gambar 2.11** Modul termoelektrik semikonduktor ganda

Dengan semikonduktor tipe-P yang terhubung dengan sumber tegangan positif dan bagian akhir dari semikonduktor tipe-N terhubung dengan sumber tegangan negatif, terjadi fenomena yang menarik. Dimana “holes” yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-P ditarik oleh kutub negatif, dan juga kebalikannya elektron yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-N ditarik oleh kutub positif dari sumber tegangan.



**Gambar 2.12** Rangkaian seri modul termoelektrik semikonduktor ganda

Dengan demikian berlangsung terus menerus pada saat diberikan arus, beban pembawa dan kalor yang dihasilkan akan mengalir dengan arah yang sama seperti pada gambar 2.11 dan 2.12, dengan menggunakan sifat-sifat khusus dari termoelektrik “couple”,



memungkinkan untuk menggabungkan banyak pellet ke dalam sebuah susunan persegi untuk membentuk sebuah modul termoelektrik.

Modul ini dapat menghasilkan kalor dalam jumlah yang dapat diterima, tetapi dengan hubungan kelistrikan yang disusun secara seri, DC power supplies dapat digunakan. Modul termoelektrik yang sekarang umum digunakan tersusun dari 254 pellet semikonduktor tipe-N dan P yang dapat dioperasikan pada 12-16 VDC dan hanya menggunakan arus sebesar 4-5 ampere.

## **2.4 Bahan Termoelektrik**

Penelitian awal tentang material termoelektrik pada tahun 1950 dan 1960 menunjukkan bahwa paduan Bismuth Telluride ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), Lead Telluride ( $\text{PbTe}$ ) dan Silicon-Germanium ( $\text{SiGe}$ ) sebagai material dengan bilangan Merit terbaik untuk tiga interval temperatur. Bismuth Telluride ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) dan paduannya telah digunakan secara luas dalam aplikasi pendinginan termoelektrik dan mempunyai range temperature 180K-450K. Material Lead Telluride ( $\text{PbTe}$ ) dan Silikon Germanium ( $\text{SiGe}$ ) telah digunakan secara luas dalam aplikasi pembangkit daya bertemperatur lebih besar, khususnya pembangkit daya kendaraan angkasa, dan range temperaturnya masing masing 500K-900K dan 800K-1300K. Penemuan material-material tersebut sebagai material termoelektrik merupakan sesuatu yang baik untuk mendorong perkembangan industri termoelektrik dan banyak dari peserta perintis masih aktif dalam bidang tersebut[4].

Dalam lima puluh tahun terakhir, dengan melakukan percobaan pada campuran komposit, telah ditemukan material termoelektrik yang memiliki performance yang cocok dan dikenal saat ini dengan campuran bismuth 11 antimony tellurium. Pada 1990-an, ide untuk menggunakan skutterudites telah diaplikasikan. Dimana skutterudites itu sendiri merupakan nama umum untuk cobalt dan nickel ore yang ditemukan dekat di Skuterud, Norway[5].

## **2.5 Kinerja Modul Termoelektrik[11]**

Dalam menganalisa kinerja modul termoelektrik dapat diamati bahwa perpindahan panas yang terjadi dari beban kalor menuju sisi dingin modul termoelektrik dapat diketahui dari jumlah kalor yang dipompa oleh efek Peltier, panas yang berpindah dari sisi panas ke sisi dingin karena konduktivitas termal material termoelektrik, dan sebagian

dari total efek Joule heating yang ditimbulkan oleh arus listrik terhadap tahanan termal[6].

Kalor yang dipompa oleh efek peltier

$$q_p = \alpha \cdot T_c \cdot I \quad (2.1)$$

Dimana :

$q_p$  = Kalor yang dipompa oleh efek Peltier (W)

$\alpha$  = Koefisien Seebeck (V/K)

$T_c$  = Temperatur sisi dingin (K)

$I$  = Arus listrik yang diberikan pada termoelektrik (A)

Kalor yang berpindah karena konduktivitas termal

$$q_k = K \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Dimana :

$q_k$  = Kalor yang berpindah karena konduktivitas termal [W]

$K$  = Konduktivitas termal [W/K]

$\Delta T$  = Beda temperatur sisi panas dan sisi dingin [K]

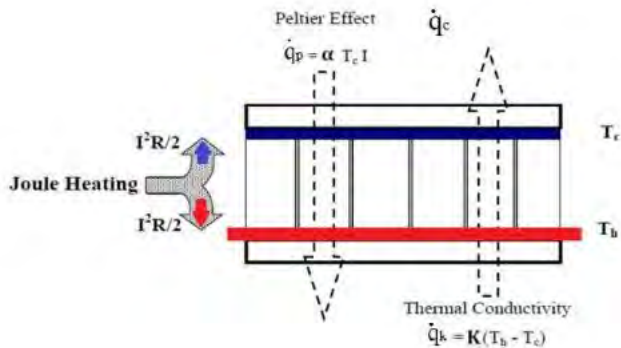
Efek Joule heating yang ditimbulkan oleh arus listrik

$$q_j = \frac{I^2 \cdot R}{2} \quad (2.3)$$

Dimana :

$q_j$  =Efek Joule heating yang ditimbulkan oleh arus listrik[W]

$R$  =Tahanan elektrik [ $\Omega$ ]



**Gambar 2.13** Perpindahan kalor pada termoelektrik

Dari balans energi diperoleh :

Kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik

$$q_c = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T - \frac{I^2 \cdot R}{2} \quad (2.4)$$

Dimana :  $q_c$  = Kalor yang diserap pada sisi dingin [W]

Seperti sudah diuraikan diatas, pada persamaan tersebut memperlihatkan bahwa suku pertama adalah energi listrik yang diberikan, suku kedua adalah energi panas yang diteruskan secara konduksi, dan suku ketiga merupakan rugi-rugi panas akibat arus listrik. Kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik

$$q_h = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T + \frac{I^2 \cdot R}{2} \quad (2.5)$$

Dimana :

$q_h$  = Kalor yang dilepas pada sisi panas [W]

Koefisien Seebeck

$$\alpha = 2 \cdot \alpha_m \cdot N \quad (2.6)$$

Dimana :

$\alpha_m$  = Koefisien Seebeck elemen [V/K]

N = Jumlah sambungan elemen pada termoelektrik = 127  
(berdasarkan tipe TEC1-12706)

Koefisien Seebeck elemen

$$\alpha_m = \alpha_0 + \alpha_1 T_{avg} + \alpha_2 T_{avg}^2 \quad (2.7)$$

Dimana :

$\alpha_m$  = Koefisien Seebeck elemen [V/K]

$\alpha_0 = 2.2224 \times 10^{-5}$

$\alpha_1 = 9.306 \times 10^{-7}$

$\alpha_2 = -9.905 \times 10^{-10}$

$T_{avg}$  = Temperatur rata-rata sisi dingin dan sisi panas [K]

Konduktivitas termal

$$K = 2 \cdot K_m \cdot N \cdot G \quad (2.8)$$

Dimana :

$K_m$  = Konduktivitas termal elemen [W/cmK]

G = Faktor geometri elemen [cm]

$N = 0.121 \text{ cm}$  (AZTEC software; version 3.1, Laird Technologies, 2010).

Konduktivitas termal elemen

$$K_m = K_0 + K_1 T_{ave} + K_2 T_{ave}^2 \quad (2.9)$$

Dimana :

$K_m$  = konduktivitas termal elemen [W/cmK]

$K_0 = 6.2605 \times 10^{-2}$

$K_1 = -2.777 \times 10^{-4}$

$K_2 = 4.131 \times 10^{-7}$

$T_{ave}$  = Temperatur rata-rata sisi dingin dan sisi panas [K]

Tahanan elektrik

$$R = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \quad (2.10)$$

Dimana :

$\rho$  = Tahanan elektrik elemen [ $\Omega\text{cm}$ ]

Tahanan elektrik elemen

$$\rho = \rho_0 + \rho_1 T_{ave} + \rho_2 T_{ave}^2 \quad (2.11)$$

Dimana :

$\rho_0 = 5.112 \times 10^{-5}$

$\rho_1 = 1.634 \times 10^{-6}$

$\rho_2 = 6.279 \times 10^{-9}$

$T_{ave}$  = Temperatur rata-rata sisi dingin dan sisi panas modul termoelektrik [K]

Dengan mensubstitusi persamaan (2.6), (2.8), (2.10) ke persamaan (2.4) dapat diperoleh :

Kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik

$$q_c = 2N[\alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T \cdot G - \left(\frac{I^2 \rho}{2G}\right)] \quad (2.12)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.6), (2.8), (2.10) ke persamaan (2.5) dapat diperoleh :

Kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik

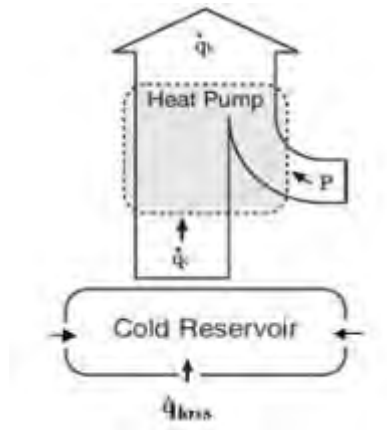
$$q_h = 2N[\alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T \cdot G + \left(\frac{I^2 \rho}{2G}\right)] \quad (2.13)$$

Daya listrik yang diberikan pada modul termoelektrik

$$P_{in} = I^2 R \quad (2.14)$$

Kesetimbangan energi

$$q_h = q_c + P_{in} \quad (2.15)$$



**Gambar 2.14** Kesetimbangan energi pada termoelektrik pendingin

Figure of merit ( $Z$ ) merupakan nilai standar untuk menentukan efisiensi material dari termoelektrik. Jika nilai  $Z$  meningkat berarti kemampuan material termoelektrik juga meningkat. Nilai figure of merit bervariasi tergantung kebutuhan material termoelektrik terhadap temperatur[7].

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho K} \quad (2.16)$$

Dimana :

$\alpha$  adalah koefisien Seebeck

$\rho$  adalah tahanan listrik

$K$  adalah konduktivitas termal

COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin terhadap besarnya daya listrik yang masuk [8]. Besarnya COP lebih kecil jika dibandingkan dengan COP mesin pendingin kompresi uap [9].

$$COP = \frac{q_c}{P_{in}} \quad (2.17)$$

Dimana :

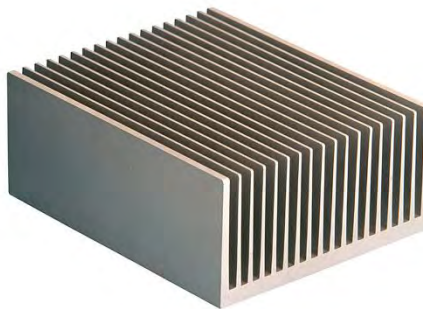
$COP$  = efisiensi termoelektrik pendingin

$q_c$  = kalor yang diserap pada sisi dingin termoelektrik

$P_{in}$  = daya listrik yang masuk

## 2.6 Heatsink[14]

Heatsink biasanya terbuat dari aluminium, berada dalam kontak dengan sisi panas dari modul termoelektrik. Ketika positif dan negatif dari modul termoelektrik dihubungkan ke terminal positif dan negatif masing-masing dari sumber daya DC, panas akan dilepaskan oleh Modul termoelektrik sisi panas, heatsink melancarkan pembuangan panas. Heatsink biasanya adalah tahap peralihan pada Proses pemindahan panas dimana panas mengalir ke dalam heatsink dan kemudian ditransfer ke media eksternal. Umumnya heatsink termasuk konveksi bebas, konveksi paksa dan cairan dingin, tergantung pada ukuran kulkas.



**Gambar 2.15** Heatsink

## 2.7 Styrofoam[13]

Styrofoam atau yang dikenal dengan Expandable Polystyrene (EPS) adalah suatu material yang terbuat ekspansi polystyrene beads (butir polistiren) yang dibuat dengan cara dicetak (*moulding*). Styrofoam dikenal juga dengan istilah styropor. Istilah expandable polystyrene sering kali disamakan dengan extruded polystyrene. Kedua material ini sebenarnya berbeda. Expandable polystyrene terbuat dari polystyrene beads (butir) sedangkan extruded polysterene terbuat dari polystyrene foam (busa). Dari pembuatannya juga berbeda, expandable polystyrene dibuat dengan proses molding, sedangkan extruded polystyrene dibuat dengan proses ekstrusi. Expandable polystyrene diciptakan oleh BASF (sebuah pabrik kimia) pada tahun 1951 dan sekarang EPS diproduksi dari bahan mentah dengan biaya seefektif mungkin sebagai produk pembungkus (*packaging*) yang efisien.



**Gambar 2.16** Styrofoam

Styrofoam dibedakan berdasarkan bentuknya antara lain *box* berrongga, *box* dengan pola, lembaran, balok, butiran. Untuk mengolah bahan styrofoam dibutuhkan beberapa alat/bahan antara lain :

- Cutter Alat pemotong dan pembentuk styrofoam yang paling sederhana.
- Pemotong styrofoam Ada alat pemotong khusus styrofoam. Alat ini berupa sebuah mesin, terbagi menjadi 2 macam yakni pemotong sederhana berupa kawat yang dialiri panas jika dihubungkan pada

daya (bisa baterai maupun listrik) dan pemotong dengan teknologi yang lebih canggih yakni pemotong dengan kontrol komputer.

- Lem Tidak semua jenis lem dapat digunakan bersamaan dengan styrofoam. Jika tidak sesuai maka styrofoam yang akan direkatkan dapat meleleh karena styrofoam tidak tahan pada beberapa zat kimia. Lem yang dapat digunakan untuk styrofoam antara lain adalah lem putih.
- Cat Untuk cat, styrofoam juga tidak dapat menggunakan sembarang jenis cat. Styrofoam hanya dapat menggunakan cat berbahan dasar air.
- Lapisan fireproofing Styrofoam sendiri akan meleleh jika terkena api, untuk itu diperlukan lapisan fireproofing.

Karakteristik styrofoam antara lain :

- Tahan benturan
- Menginsulasi panas
- Ringan
- Tahan air
- Kedap suara
- Sulit terurai
- Mudah dipotong
- Ekonomis
- Berwarna putih pada umumnya
- Larut dalam cairan kimia tertentu

Pada umumnya styrofoam (EPS) digunakan sebagai bahan kerajinan tangan, pelapis kemasan barang elektronik, bantalan helm, kemasan makan dan minuman (peralatan makan), kemasan (*box*) penyimpanan ikan, buah, dan sayuran. Setelah digunakan untuk keperluan tersebut biasa styrofoam dibuang begitu saja, padahal masih bisa digunakan dan styrofoam membutuhkan waktu lebih dari 1 juta tahun supaya bisa terurai sempurna. Untuk itu perlu sebuah solusi supaya sampah styrofoam tersebut tidak menumpuk dan lama kelamaan menimbulkan masalah tersendiri. Salah satu solusinya yaitu dengan digunakan kembali.

Kemampuan styrofoam dalam menginsulasi panas dapat diuji coba dengan cara menyinari styrofoam berukuran 30x30 cm dengan lampu sorot atau menghadapkannya pada sumber panas sebagai pengganti panas matahari dengan jarak tertentu. Dan sisi yang berlawanan diukur suhunya. Suhu ini dibandingkan dengan mengukur suhu udara dekat sumber panas dengan jarak yang sama tanpa styrofoam. Dengan begitu



akan didapatkan seberapa efektif styrofoam menghambat laju panas. Percobaan ini dilakukan beberapa kali dengan menggunakan styrofoam yang tebalnya berbeda-beda.

## 2.8 Arduino[1]

Arduino adalah komputasi fisik *open source platform* berbasis pada papan *input / output* (I / O) sederhana dan lingkungan pengembangan yang mengimplementasikan bahasa *Processing* ([Www.processing.org](http://www.processing.org)). Arduino dapat digunakan untuk mengembangkan objek interaktif *standalone* atau dapat dihubungkan ke perangkat lunak pada komputer anda (seperti Flash, Pengolahan, VVVV, vs Max / MSP). Papan dapat dirakit dengan tangan atau dibeli sebelum dirakit; *open source IDE* (*Integrated Development Environment*) dapat didownload secara gratis dari [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

Arduino terdiri dari dua bagian utama: Arduino papan, yang merupakan bagian dari perangkat keras ketika bekerja pada saat kita membangun objek dan Arduino IDE, bagian perangkat lunak yang dijalankan pada komputer. Dengan menggunakan IDE untuk membuat sketsa (program komputer kecil) kemudian diupload ke papan Arduino. sketsa memberitahu papan apa yang harus dilakukan.

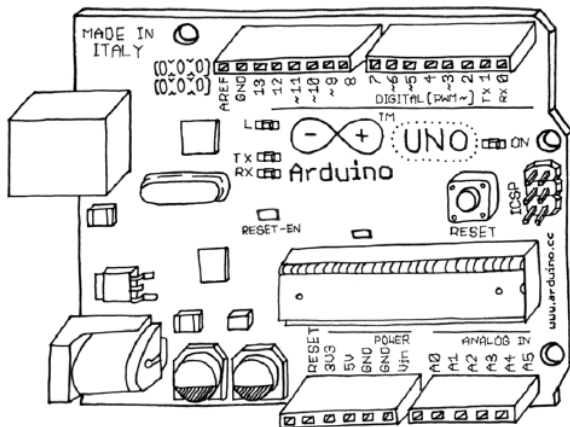
Papan Arduino adalah papan mikrokontroler kecil, yang merupakan sirkuit kecil (Papan) yang berisi seluruh komputer pada satu chip kecil (mikrokontroler). Komputer ini setidaknya seribu kali lebih kuat dari MacBook saya gunakan untuk menulis ini, tapi itu jauh lebih murah dan sangat berguna untuk membangun perangkat yang menarik. Lihatlah papan Arduino: Anda akan melihat hitam chip dengan 28 "kaki" -bahwa Chip adalah ATmega328, jantung dari Papan Anda.

Pada gambar 2.17, Anda melihat papan Arduino. Pada awalnya, semua konektor yang mungkin sedikit membingungkan. Berikut adalah penjelasan tentang apa yang setiap unsur dari papan tersebut:

- 14 Digital IO pin (pin 0-13)  
Ini dapat menjadi input atau output, yang ditentukan oleh sketsa yang Anda buat dalam IDE.
- 6 Analog Pada pin (pin 0-5)  
pin masukan didedikasikan analog ini mengambil nilai-nilai analog (yaitu, tegangan bacaan dari sensor) dan mengubahnya menjadi angka antara 0 dan 1023.
- 6 Analog Out pin (pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11)

Ini sebenarnya enam dari pin digital yang dapat memprogram untuk output analog dengan menggunakan sketsa yang Anda buat dalam IDE.

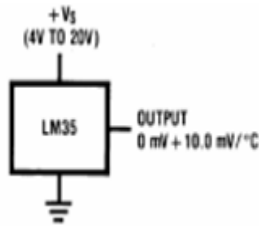
papan dapat diberi tenaga dari port USB komputer anda, yang paling USB komputer Anda sebagai pengisi daya, atau adaptor AC (direkomendasikan 9 volt, 2.1mm barel tip,pusat positif). Jika tidak ada catu daya dicolokkan ke listrik soket, daya akan datang dari papan USB, tetapi segera setelah Anda pasang power supply, papan otomatis akan menggunakannya.



**Gambar 2.17** Arduino Uno

## 2.9 LM 35

Sensor Temperatur LM35 merupakan komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran Temperatur menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Untuk mendeteksi Temperatur digunakan sebuah Sensor Temperatur LM35 yang dapat dikalibrasikan langsung dalam  $^{\circ}\text{C}$ , LM35 ini difungsikan sebagai *Basic Temperature Sensor* seperti pada Gambar 2.18.



**Gambar 2.18** LM35 *Basic Temperature Sensor*

Vout dari LM35 pada Gambar 2.18 dihubungkan dengan ADC (*Analog To Digital Converter*). Dalam Temperatur kamar ( $25^{\circ}\text{C}$ ) transduser ini mampu mengeluarkan tegangan 250 mV dan 1,5 Volt DC pada Temperatur  $150^{\circ}\text{C}$  dengan kenaikan sebesar  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . Keluaran sensor pada Tugas Akhir ini akan naik sebesar 10 mV setiap derajat Celcius sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_{\text{LM35}} = \text{Temperatur} \times 10\text{ mV}$$

Secara prinsip Sensor akan melakukan penginderaan pada saat perubahan Temperatur setiap Temperatur  $1^{\circ}\text{C}$  akan menunjukkan tegangan sebesar 10 mV. Pada penempatannya LM35 dapat ditempelkan dengan perekat atau dapat pula disemen pada permukaan akan tetapi Temperaturnya akan sedikit berkurang sekitar  $0,01^{\circ}\text{C}$  karena terserap pada Temperatur permukaan tersebut. Dengan cara seperti ini diharapkan selisih antara Temperatur udara dan Temperatur permukaan dapat dideteksi oleh Sensor LM35 sama dengan Temperatur disekitarnya, jika Temperatur udara disekitarnya jauh lebih tinggi atau jauh lebih rendah dari Temperatur permukaan, maka LM35 berada pada Temperatur permukaan dan Temperatur udara disekitarnya.

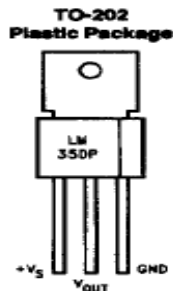
### 2.9.1 Karakteristik dari Sensor LM35.

- Memiliki sensitivitas Temperatur, dengan faktor skala linier antara tegangan dan Temperatur  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ , sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam Celcius.
- Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi merupakan  $0,5^{\circ}\text{C}$  pada Temperatur  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Memiliki jangkauan maksimal operasi Temperatur antara  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai  $+150^{\circ}\text{C}$ .
- Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 Volt.

- e. Memiliki arus rendah merupakan kurang dari  $60 \mu\text{A}$ .
- f. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) merupakan kurang dari  $0,1^\circ\text{C}$  pada udara diam.
- g. Memiliki impedansi keluaran yang rendah merupakan  $0,1$  Watt untuk beban  $1 \text{ mA}$ .
- h. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm \frac{1}{4}^\circ\text{C}$ .

### 2.9.2 Konfigurasi Pin LM35

Pada Gambar 2.19 menunjukkan konfigurasi Pin dari Sensor Temperatur *LM35*.



**Gambar 2.19** Konfigurasi LM 35

Berikut penjelasan susunan kaki/Pin LM35 pada Gambar 2.6 :

- a.  $+V_s$ , merupakan Pin sebagai masukan untuk tegangan positif yang berasal dari catu daya.
- b.  $GND$ , sebagai Pin masukan *ground*.
- c.  $V_{out}$ , merupakan Pin keluaran tegangan dari Sensor yang nantinya akan masuk pada Rangkaian *Signal Conditioning*.

### 2.10 Optocoupler [3]

Optocoupler merupakan piranti elektronika yang berfungsi sebagai pemisah antara rangkaian *power* dengan rangkaian *control*. Optocoupler adalah suatu komponen penghubung yang bekerja berdasarkan picu cahaya optic.

Optocoupler terdiri dari dua bagian yaitu:

Pada *transmitter* dibangun dari sebuah LED infra merah. Jika dibandingkan dengan menggunakan LED biasa, LED infra merah

memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang.

Pada bagian *receiver* dibangun dengan dasar komponen photodiode. Photodiode merupakan suatu Optocoupler yang peka terhadap cahaya. Suatu sumber cahaya menghasilkan energi panas, begitu pula dengan spektrum infra merah, karena spektrum infra mempunyai efek panas yang lebih besar dari cahaya tampak maka photodiode lebih peka untuk menangkap radiasi dari sinar infra merah.

Ditinjau dari kegunaan fisik Optocoupler dapat berbentuk bermacam-macam. Bila hanya digunakan untuk mengisolasi *level* tegangan atau data pada sisi *transmitter* dan sisi *receiver*, maka Optocoupler ini biasanya dibuat dalam bentuk *solid* (tidak ada ruang antara LED dan Photodiode). Sehingga sinyal listrik yang ada pada *input* dan *output* akan terisolasi. Dengan kata lain Optocoupler ini di gunakan sebagai optoisolator jenis IC.

**Prinsip kerja dari optocoupler adalah:**

Jika antara photodiode dan LED terhalang maka photodiode tersebut akan *off* sehingga *output* dari *colector* akan berlogika *high*.

Sebaliknya jika antara photodiode dan LED tidak terhalang maka photodiode tersebut akan *on* sehingga *output*-nya akan berlogika *low*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

### **BAB III**

## **PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Pada Tugas Akhir yang membuat “Rancang Bangun Kulkas *Portable* Menggunakan Termoelektrik Berbasis Mikrokontroler” dalam pengerjaannya memiliki dua tahap, yaitu perancangan elektrik, dan mekanik.

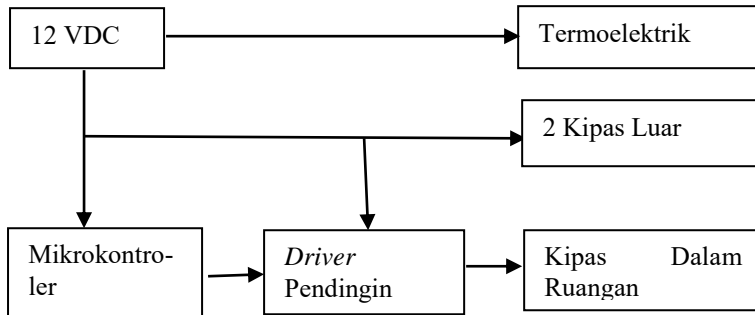
Perancangan rangkaian kontrol meliputi perancangan Modul mikrokontroler (Arduino) dan *Driver* Pendingin, dimana dalam prosesnya power supply akan menyuplay termoelektrik (peltier) , modul mikri kontroler, dan kipas. Pada termoelektrik (peltier) agar dapat bekerja sebagai penghasil panas dan dingin, dalam hal ini, dingin pada termoelektrik (peltier) yang akan di manfaatkan sebagai sumber pendinginan pada kulkas *portable*. Sebagaimana cara kerja dan hasil percobaanya akan di sampaikan pada Bab 4 (gambar 4.5 dan tabel 4.3). Pada Modul Mikrokontroler (Arduino) yang difungsikan sebagai pengontrol penyalan *Fan* yang mempengaruhi suhu yang dihasilkan peltier atau Termoelektrik. Sedangkan untuk perancangan mekanik, ruangnya di desain berbentuk kotak yang bahannya terbuat dari sterofoam yang bisa menahan kondisi suhu dari kondisi suhu luar. Di dalam kotak tersebut terdiri dari 1 heatsink kecil sebagai perantara dingin dari peltier, 1 kipas sebagai penyalur dingin dari heatsink ke dalam ruangan pendingin dan ruang kosong untuk tempat pendinginnya, selain ruangnya di bagian atas terdapat heatsink yang harus ditempelkan dengan Termoelektrik pada sisi yang menghasilkan suhu panas kemudian di atas heatsink besar diletakan 2 kipas untuk mengurangi panas yang di timbulkan dari sisi panas peltier dan di sisi bagian termoelektrik yang menghasilkan suhu dingin juga ditempelkan 1 heatsink kecil dan dibawahnya dipasang kipas ukuran kecil yaitu 1 kipas dalam tadi, gambar mengenai rancangan tersebut bisa dilihat pada gambar 3.3 . Sedangkan untuk rangkaian kontrolnya terletak di luar ruangan. Dalam proses awal perancangan dan pembuatan kontrol ditentukan terlebih dahulu besarnya *input* yang diperlukan, beban, dan muatan bahan yang ingin di dinginkan, serta Suhu yang ingin dihasilkan. Sedangkan untuk mekaniknya ditentukan jenis bahan untuk pembuatan rangka, bahan pembatas dinding, dan penentuan letak *Driver*, Rangkaian Kontrol dan Mikrokontroler. Sehingga perancangan bangun ini

diharapkan dapat memberikan keamanan untuk pengguna (manusia) dan alat itu sendiri.

Pada perancangan Rangkaian *Driver* hanya meliputi beberapa komponen yang terdiri supply tegangan 12 VDC dan *Optocoupler*. Rangkaian driver pendingin ini sebagai bagian dari sistem kontrol kapan kipas (bagian dalam) menyala yang bisa mempengaruhi suhu yang dihasilkan peltier atau Termoelektrik pada ruang pendingin.

### 1.1 Konfigurasi Sistem

Konfigurasi sistem dari “Rancang Bangun Kulkas *Portable* Menggunakan Termoelektrik Berbasis Mikrokontroler” dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 1.1** Blok Fungsional Sistem

Pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan tentang cara kerja sistem yaitu:

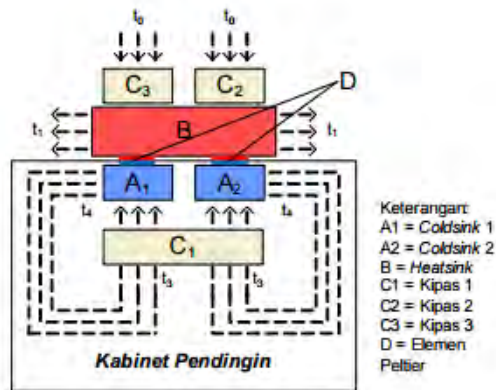
1. Sumber jala-jala 220 Volt AC akan diubah ke tegangan 12 VDC.
2. 12 VDC akan menyupply termoelektrik, 2 kipas bagian luar ruangan, dan 1 kipas bagian dalam ruangan, serta Arduino.
3. Pada saat dinyalakan beberapa komponen akan berkerja kecuali 1 kipas yang ada di dalam ruangan.
4. Setelah sensor *Im 35* mendeteksi perubahan suhu dan tepat pada set-point suhu yang di tentukan, Mikrokontroler yang ada di dalam Arduino akan menyalakan 1 kipas yang ada dibagian dalam ruangan melalui *Driver Pendingin*.

### 1.2 Perancangan Mekanik

Pada gambar 3.2, 2 buah elemen peltier yang terdapat diantara heatsink dan coldsink. bekerja saat dicatu oleh tegangan dc 12 V. Saat elemen tersebut bekerja masing masing sisi elemen akan membuang



kalor dan melepas kalor. Heatsink akan memfokuskan pembuangan kalor dan coldsink akan memfokuskan penyerapan kalor. Kipas C2 dan C3 akan mempercepat pembuangan kalor sedangkan C1 akan mempercepat penyerapan kalor. Kipas C2 dan C3 akan meniupkan udara bersuhu  $t_0$  (suhu lingkungan) ke heatsink, sehingga udara yang keluar dari heatsink bersuhu  $t_1$ . Kipas C1 akan meniupkan udara bersuhu  $t_3$  melalui coldsink, sehingga udara yang keluar dari coldsink bersuhu  $t_4$ . Seiring waktu,  $t_3$  akan mencapai  $t_4$  sehingga  $t_3=t_4$ .



**Gambar 3.2** Skema perancangan

Dalam merancang bagian mekanik terdiri dari 1 buah kotak yang digunakan sebagai tempat untuk pendinginnya. Sedangkan untuk penempatan Rangkaian *Driver*, Rangkaian *Controller*, sumber tegangan (DC) di letakkan di sisi-sisi ruangan dan diletakkan di tempat yang berbeda. 1 buah kotak tersebut terbuat dari bahan styrofoam yang mempunyai beberapa keuntungan diantaranya ringan dan bisa menahan keadaan suhu di dalam ruangan.

Dalam ruangan tersebut terdapat sensor LM 35 dan 1 kipas bagian dalam ruangan. 1 kipas tersebut berukuran kecil yang fungsinya menyebarkan suhu dingin dari hasil komponen termoelektrik ke dalam ruangan, kipas ini akan mulai bekerja jika terdeteksi perubahan suhu oleh LM 35. Di atas kotak styrofoam terdapat 1 buah heatsink yang besar dan dua kipas satu berukuran besar dan satu lagi berukuran kecil. Heatsink dan 2 kipas tersebut tujuannya agar panas yang dihasilkan

termoelektrik di sisi panas dikeluarkan agar termoelektrik menghasilkan suhu yang lebih dingin didalam kotak tersebut.

### 1.3 Perhitungan – Perhitungan dalam Perencanaan Kulkas *Portable*

#### 1.3.1 Perhitungan Beban Kulkas *Portable*

Perhitungan beban pada sebuah *box* meliputi perhitungan beban produk, perhitungan beban transmisi dan perhitungan beban infiltrasi.

- **Beban Produk**

Beban produk merupakan beban yang diperlukan untuk menurunkan temperatur produk.

- Massa 2 Minuman botol = 0,36kg
- Lama penyimpanan selama 4 jam
- Kalor jenis air 4200 J/Kg K
- Suhu awal minuman 30 °C

$$Q = m_{\text{minuman}} \cdot C_{\text{minuman}} \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

$$Q = 0,36 \cdot 4200 \cdot (30 - 18) \\ = 18144 \text{ J}$$

$$P_{\text{minuman}} = \frac{Q_{\text{minuman}}}{4 \times 3600} \quad (3.2) \\ = \frac{18144}{14400} \\ = 1,26 \text{ W}$$

- **Beban Transmisi**

Beban transmisi merupakan beban yang diakibatkan kerugian kalor yang terjadi pada dinding *box*. *Box* memiliki panjang 19 cm, lebar 14 cm, dan tinggi 24 cm. Dinding terbuat dari kombinasi lapisan polystyrene, dan aluminium foil. Kerugian kalor terdiri dari dinding lapisan atas, samping kanan dan kiri, depan dan belakang.

Nilai konveksi.

- K polystyrene = 0,033 (W/m. K)
- K aluminiumfoil = 180 (W/m. K)

Suhu ambient lingkungan = 30 °C

Suhu Air minuman = 21 – 24 °C

$$\frac{1}{U_1} = \frac{d_{Polystrane}}{k_{Polystrane}} + \frac{d_{Aluminium\ Foil}}{k_{Aluminium\ Foil}} \quad (3.3)$$

$$= \frac{0,025}{0,033} + \frac{0,0002}{180}$$

$$= 1,319 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\frac{1}{U_2} = \frac{d_{Polystrane}}{k_{Polystrane}} \quad (3.4)$$

$$= \frac{0,025}{0,033}$$

$$= 1,32 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Dinding Atas

$$\begin{aligned} P_{atas} &= U_2 \cdot A_{atas} \cdot (T_{lingkungan} - T_{minuma}) \\ &= 1,32 \cdot (0,19 \times 0,14) \cdot (30^\circ \text{C} - 24^\circ \text{C}) \\ &= 0,2107 \text{ W} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Dinding Samping Kanan Kiri

$$\begin{aligned} P_{samping} &= U_1 \cdot A_{samping\ kanan\ kiri} \cdot (T_{lingkungan} - T_{minuma}) \\ &= 1,319 \cdot (0,14 \times 0,24) \cdot (30^\circ \text{C} - 24^\circ \text{C}) \\ &= 0,2659 \text{ W} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Dinding depan belakang

$$\begin{aligned} P_{dep-bel} &= U_1 \cdot A_{dep-bel} \cdot (T_{lingkungan} - T_{minuma}) \\ &= 1,319 \cdot (0,19 \times 0,24) \cdot (30^\circ \text{C} - 24^\circ \text{C}) \\ &= 0,3608 \text{ W} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Dinding bagian bawah

$$P_{bawah} = U_1 \cdot A_{bawah} \cdot (T_{lingkungan} - T_{minuma}) \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,319. (0,19 \times 0,14). (30^{\circ} \text{C} - 24^{\circ} \text{C}) \\
 &= 0,2105 \text{ W} \\
 P_{transmisi} &= P_{atas} + 2P_{samping} + 2P_{dep-bel} + P_{bawah} \\
 &= 0,2107 + 2(0,2659) + 2(0,3608) + 0,2105 \\
 &= 1,6746 \text{ W}
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

- Total Rugi Sisitem

Rugi sistem dihasilkan dari total beban produk, dan beban transmis. Total beban rugi sistem adalah:

$$\begin{aligned}
 P_{rs} &= P_{minuman} + P_{transmisi} \\
 &= 1,26 + 1,6746 \\
 &= 2,9346 \text{ W}
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

### 1.3.2 Perhitungan Laju kalor Pada Heatsink

Pada alat ini menggunakan komponen Heatsink jenis Heatsink Extrude. Fungsinya membantu proses pendinginan pada sisi panas Termoelektrik agar bila suhu pada sisi panas bisa dikurangi maka sisi dingin termoelektrik bisa lebih dingin. Berikut perhitungan perpindahan panas pada heatsink :

Heatsink memiliki :

Panjang	= 15,5 cm	= 0,155m
Lebar	= 12 cm	= 0,12m
Tinggi	= 3,5 cm	= 0,035m
Tebal sirip	= 0,12 cm	= 0,0012m
Jumlah sirip	= 12	

Tebal penampang bawah = 0,3 cm = 0,003m

K aluminium = 237 Kw/mc

Suhu belakang heatsink = 27 °C

Suhu sisi panas termoelektrik tertinggi = 30,9 °C

Perhitungan penampang bawah

$$\begin{aligned}
 Q &= -K.A. \frac{\Delta T}{\Delta x} \\
 &= -237. (0,155 \times 0,12). \frac{27 - 30,9}{0,003} \\
 &= 5730,66 \text{ W}
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Perhitungan penampang sirip

$$T = 0,035\text{m} - 0,003\text{m}$$

$$= 0,032\text{m}$$

$$P = 0,155\text{m}$$

$$\text{Luas sirip } A = 0,032\text{m} \times 0,155\text{m}$$

$$= 0,00496 \text{ m}^2$$

$$\text{Tebal sirip} = 0,0012\text{m}$$

$$Q = 5730,66 \text{ W}$$

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$5730,66 = -237 \cdot (0,032 \times 0,155) \cdot \frac{\Delta T}{0,0012}$$

$$\frac{-5730,66}{-979,6} = \Delta T$$

$$5,85 = \Delta T$$

Perhitungan laju perpindahan panas satu sirip heatsink

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$= -237 \cdot (0,032 \times 0,155) \cdot \frac{5,85}{0,0012}$$

$$= -5730,66 \text{ W}$$

Q total sirip heat sink ada 12 maka hasil Q salah satu sirip di kalikan 12

$$Q_{\text{total}} = -5730,66 \times 12$$

$$= -68767,92 \text{ W}$$

Total Laju panas pada heatsink adalah :

heatsink bawah + heatsink sirip

$$5730,66 + (-68767,92) = -63037,26 \text{ W}$$

### 1.3.3 Perhitungan Suhu dan Kecepatan Pendinginan

Jika diasumsikan kondisi ideal, maka sisi panas memiliki suhu 30 °C, sehingga perhitungannya:

Sisi Dingin = Sisi Panas - 35°C (*datasheet* suhu pada TEC1-12706)

$$= 30^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$$

$$= -5^{\circ}\text{C}$$

Suhu -5 °C merupakan suhu yang cukup untuk mendinginkan minuman dalam *box*. Sedangkan untuk kecepatan pendinginan, dengan menggunakan persamaan Planck didapatkan hasil:

kalor laten air (336 kJ/kg)

massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$T_f$  = titik beku air 0 °C

$T_m$  = suhu medium pendingin (-5 °C)

$h$  = koefisien pindah panas

$k$  = konduktivitas termal bahan (1,0810 W/m<sup>2</sup>K)

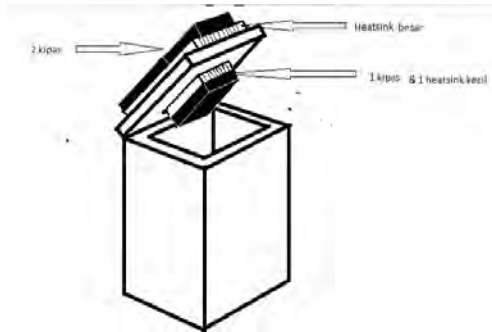
$$tf = \frac{\lambda \rho}{(T_f - T_m)} \left( \frac{P \cdot L}{h} + \frac{P \cdot L^2}{k} \right) \quad (3.12)$$

$$= \frac{336000 \cdot 10^3}{0 - (-5)} \left( \frac{0,2}{4.57.273} + \frac{0,2^2}{16.1.081.273} \right)$$

$$= 67,2 \cdot 10^6 \left( \frac{944,36 + 248,976}{29390371,9} \right)$$

$$= 2728,5 \text{ s}$$

$$= 45,47 \text{ menit}$$



**Gambar 3.3** Perancangan Mekanik Kulkas *Portable*

Untuk perancangannya seperti pada gambar 3.3 dengan memanfaatkan *box* buatan pabrik yang mudah didapatkan di pasaran dimana *box*nya berbahan styrofoam, karena bahan tersebut mampu menginsulasi panas sehingga laju perpindahan panas dapat dikurangi. Bagian dinding dalam *box* dilapisi aluminium foil. Ukuran volume dalamnya  $19 \times 14 \times 24$  cm yang hanya mampu menampung space maksimal ukuran 2 botol minuman plastik ukuran 200 ml, ketebalan bahan styrofoam yang digunakan 2,5 cm dan ketebalan aluminium foilnya 0,2 mm. Untuk dibagian dinding atas tidak dilapisi aluminium foil, diberi lubang seukuran panjang lebar peltier/termoelektrik sebagai tempatnya termoelektrik lalu dibagian bawahnya termoelektrik (sisi dingin) ditempelkan 1 heatsink kecil dan dibawahnya lagi ditempelkan 1 kipas kecil. diatas peltier/termoelektrik yang sisi panas ditempelkan 1 heatsink ukuran besar lalu di atas heatsink tersebut ditempelkan 2 kipas kecil dan besar. Perancangan sistem pendingin seperti peletakan heatsink dan kipas-kipas tersebut dimaksudkan untuk mengurangi suhu panas pada sisi panas peltier dan memaksimalkan suhu dingin yang dihasilkan sisi dingin peltier untuk mendingin suhu dalam ruang *box*.

Dalam perancangan elektrik pada alat ini diperlukan suatu sistem yang mengontrol penyalan kipas bagian dalam, berbeda dengan perancangan elektrik pada Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun *Portable Cool Storage* Menggunakan PLC” yang dikontrol penyalan element pendinginnya, ketika termoelektrik dalam keadaan *on* maka sisi dingin akan menghasilkan dingin dan sisi panas akan menghasilkan

panas namun ketika termoelektrik dalam keadaan *off* kembali, kedua sisi termoelektrik tersebut tidak menghasilkan suhu, panas yang dihasilkan sisi panas tadi bergerak ke bagian sisi dingin termoelektrik sehingga kalor yang tadinya berpindah dengan cara diserap dan dilepaskan oleh peltier kembali ke tempat semula sehingga suhu bagian dalam *Cool Storage* bisa kurang dingin. Pada alat kami termoelektrik tetap menyala sehingga aliran suhu panas tidak akan mengalir ke sisi dingin peltier karena peltier terus menyerap dan melepaskan kalor. Penyalaan kipas bagian dalam perlu dikontrol karena bisa mempengaruhi kecepatan penurunan suhu dalam ruang *box* seperti yang telah diuji dan didata pada tabel 4.3. untuk mengatur penyalaan kipas dibutuhkan lm 35 untuk mendeteksi suhu, mikrokontroler yang berada didalam arduino uno, dan optocoupler yang difungsikan sebagai saklar

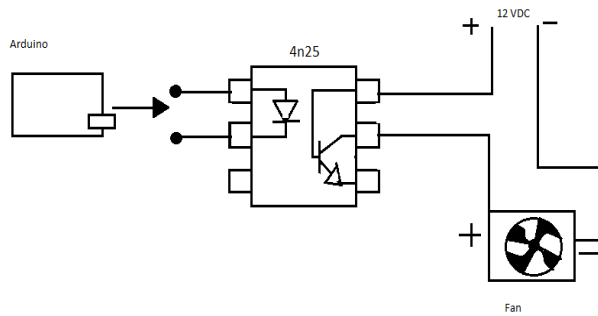
#### **1.4 Perancangan Elektrik**

Perancangan Elektrik dari alat dengan judul “Rancang Bangun Kulkas *Portable* menggunakan Termoelektrik Berbasis Mikrokontroler” adalah pembuatan rangkaian sistem kontrol yang terdiri dari sensor LM 35, Arduino, dan *driver* pendingin

##### **1.4.1 Perancangan Rangkaian Kontrol**

Pada rangkaian ini terdapat LM 35 yang berfungsi mengukur suhu pada ruang. Prinsip kerja dari sensor ini adalah suhu lingkungan di ubah menjadi tegangan oleh rangkaian di dalam IC. Dimana perubahan suhu berbanding lurus dengan perubahan tegangan yang telah kami uji dan hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 4.1. Sensor *LM35* menghasilkan keluaran tegangan dan tegangan tersebut nantinya dapat terbaca sebagai masukan AD/DA Mikrokontroler di dalam Arduino Uno. Setelah itu, keluaran dari mikrokontroler tersebut akan dihubungkan ke *driver* pendingin yang terdiri dari Optocoupler dan sumber tegangan 12V seperti pada gambar 3.4.





**Gambar 3.4** Rangkaian *driver* untuk kipas

. Optocoupler tersebut difungsikan sebagai saklar. kemudian setelah driver pendingin dihubungkan ke kipas yang berada di dalam ruang pendingin.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA DATA

Pada alat tugas akhir ini terjadi dua pengujian yaitu pengujian LM 35 dan pengujian suhu didalam ruang. Pada pengujian suhu terjadi dua kali pengujian. Masing –masing menggunakan 2 Termoelektrik yang sama tapi beda usia pemakaian.

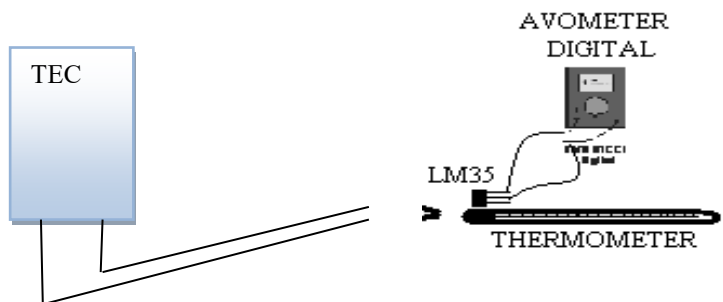
### 2.1 Pengujian LM 35

Sensor adalah komponen yang berfungsi mengubah besaran fisika menjadi besaran elektrik dan kemudian menyajikannya dalam bentuk keluaran tertentu. Sebelum pengaplikasiannya Sensor perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui apakah Sensor tersebut dapat bekerja dengan baik atau tidak sehingga diharapkan dapat menghasilkan data yang akurat sesuai dengan keadaan sebenarnya.

Sistem pengontrolan pada Tugas Akhir ini menggunakan sebuah Sensor Suhu LM35. Data tegangan keluaran dari Sensor diambil berdasarkan perubahan yang terjadi setiap  $1^{\circ}\text{C}$ . Pemrosesan data pengujian sensor yaitu dimulai dengan cara pengambilan hingga pencatatan data sebagai berikut :

#### 1. Peralatan yang digunakan.

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| a. Sensor <i>LM35</i> | 1 |
| b. <i>Termometer</i>  | 1 |
| c. <i>Avometer</i>    | 1 |
| d. <i>Solder</i>      | 1 |



**Gambar 4.1** Proses Pengujian Sensor *LM35*

Keterangan gambar :

- Avometer yang digunakan adalah Avometer digital merk Sanwa digital multimeter.
- Elemen pendingin Peltier/TEC diberi tegangan 3 volt dari adaptor.
- Setelah elemen dingin, maka LM35 didekatkan dan diukur dengan avometer digital.

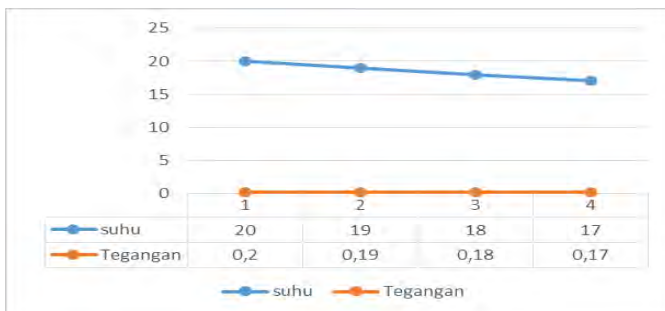
Cara pengambilan data.

- Menghubungkan TEC ke adaptor.
- Kemudian setelah TEC dingin, Termometer beserta sensor LM35 yang telah siap di dekatkan dengan elemen pendingin.
- Memperhatikan perubahannya melalui display berupa LCD 2 X 16.
- Menghubungkan LM35 ke Voltmeter dan mengukur keluaran tegangan yang terjadi pada sensor .
- Melakukan pencatatan data per °C dari 17°C sampai 20°C.
- Mengisi data pengukuran suhu naik kedalam Tabel 4.1.

Tabel data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Data Tegangan LM35

Suhu (°C)	Tegangan LM35(volt)
20	0,2
19	0,19
18	0,18
17	0,17



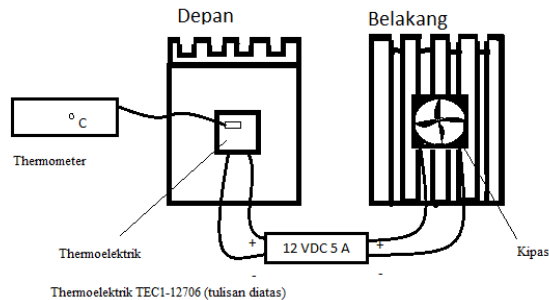
**Gambar 4.2** Grafik hasil pengujian sensor LM35

Dari tabel 4.1 dan gambar 4.2 Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa Sensor LM35 memiliki outputan yang bersifat *linier* sesuai dengan bebannya.

## 2.2 Pengujian Suhu

Suhu dingin yang ada pada alat ini dihasilkan oleh komponen termoelektrik. Komponen berbentuk lempeng dimana pada sisi sebelah mampu menghasilkan suhu dingin dan sisi sebaliknya mampu menghasilkan suhu panas ketika dialiri arus.

Pada pengujian ini dilakukan 2 kali pengujian. Pada pengujian pertama pengukuran suhu dilakukan seperti gambar 4.3. Perancangan seperti pada gambar 4.3, kemudian pengambilan data hingga pencatatan data sebagai berikut :



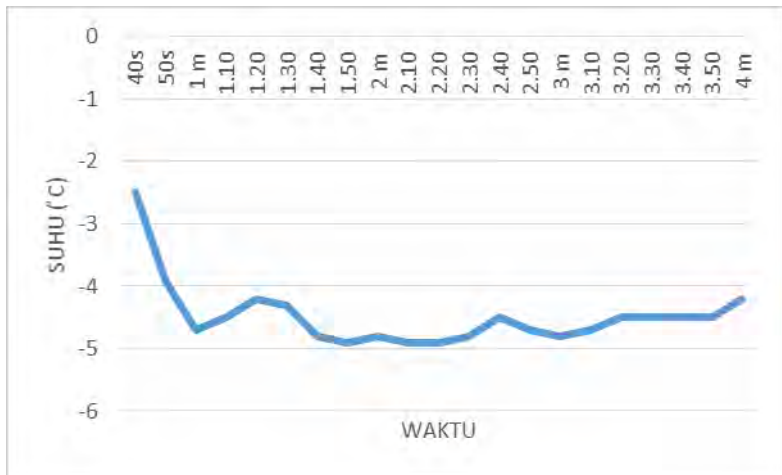
**Gambar 4.3** Proses Pengujian Suhu Seperti Gambar Diatas

1. Keterangan gambar :
  - a. Thermoelektrik diletakkan didepan Heatsink dan kipas diletakkan dibelakang heatsink
  - b. Termoelektrik dan kipas diberi tegangan 12 VDC 5 A
  - c. Di atas termoelektrik diletakkan pengukur suhu Termometer untuk melihat suhu pada ruang *box* tersebut
2. Cara pengambilan data.
  - a. Peltier, dan kipas diberi tegangan 12VDC
  - b. Memperhatikan perubahan suhu tiap beberapa waktu.
  - c. Mengisi data pengukuran suhu turun kedalam Tabel 4.2.

Data yang diperoleh pada pengujian seperti rancangan pada Gambar 4.3 dapat dilihat pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Data Pengujian Seperti Gambar 4.3

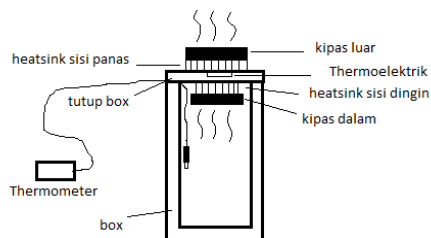
Waktu	Sisi dingin ( °C)	Sisi panas ( °C)	Heatsink
10s	20,7	55,7	30,5
20s	7,8	42,8	30,5
30s	0,9	35,9	30,5
40s	-2,5	32,5	30,5
50s	-3,9	31,1	30,6
1 m	-4,7	30,3	30,7
1.10	-4,5	30,5	30,8
1.20	-4,2	30,8	30,8
1.30	-4,3	30,7	30,9
1.40	-4,8	30,2	31
1.50	-4,9	30,1	31,1
2 m	-4,8	30,2	31,2
2.10	-4,9	30,1	31,3
2.20	-4,9	30,1	31,5
2.30	-4,8	30,2	31,5
2.40	-4,5	30,5	31,6
2.50	-4,7	30,3	31,7
3 m	-4,8	30,2	31,8
3.10	-4,7	30,3	31,9
3.20	-4,5	30,5	31,9
3.30	-4,5	30,5	32
3.40	-4,5	30,5	32,2
3.50	-4,5	30,5	32,2
4 m	-4,2	30,8	32,2



**Gambar 4.4** Grafik Hasil Pengujian Seperti Pada Gambar 4.3

Dari tabel 4.2 dan gambar 4.4 suhu pada rancangan seperti pada gambar 4.3 mampu mencapai suhu terendah  $-4,9^{\circ}\text{C}$  pada waktu 1 menit 50 detik namun kembali naik menjadi  $-4,2^{\circ}\text{C}$  setelah 4 menit dijalankan.

Kemudian pada pengujian kedua pengukuran dilakukan di dalam ruang *Box*, Pemrosesan data pengujian suhu dalam *box* ini dimulai dengan Perancangan seperti pada gambar 4.5, kemudian pengambilan data hingga pencatatan data sebagai berikut :



**Gambar 4.5** Proses Pengujian Suhu Dalam *Box*

1. Keterangan gambar :
  - a. Perancangan sama dengan apa saja yang dirancang pada Bab III.
  - b. Didalam ruang *box* diletakkan pengukur suhu Termometer untuk melihat suhu pada ruang *box* tersebut
2. Cara pengambilan data.
  - a. Peltier, dan kipas diberi tegangan 12VDC
  - b. Set suhu pada mikrokontroler 20°C , untuk setting penyalan kipas bagian dalam *box*
  - c. Memperhatikan perubahan suhu tiap beberapa waktu.
  - d. Mengisi data pengukuran suhu turun kedalam Tabel 4.3

Dengan pengujian seperti rancangan pada gambar 4.5 dapat dilihat pada Tabel 4.3

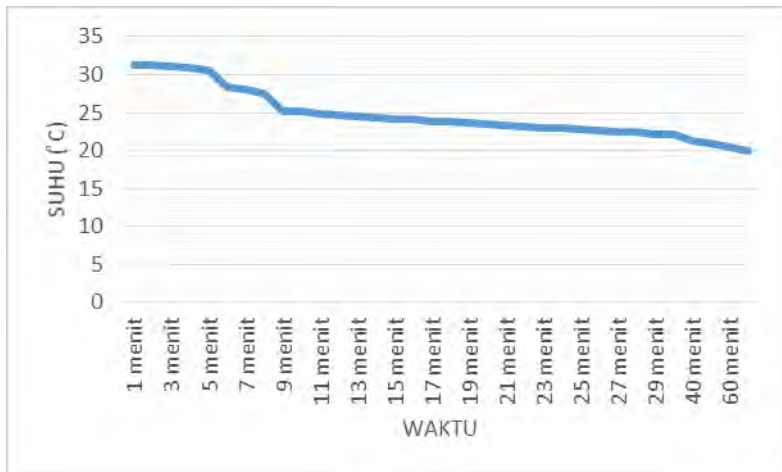
**Tabel 4.3** Data pengujian suhu di dalam *Box*

Waktu	suhu ( °C)	Arus ( A)
1 menit	31,3	4,45
2 menit	31,2	4,45
3 menit	31,1	4,45
4 menit	30,9	4,45
5 menit	30,6	4,5
6 menit	28,4	4,5
7 menit	28	4,5
8 menit	27,6	4,5
9 menit	25,1	4,5
10 menit	25,1	4,5
11 menit	24,9	4,5
12 menit	24,7	4,5
13 menit	24,5	4,5
14 menit	24,3	4,5
15 menit	24,2	4,5
16 menit	24,1	4,5
17 menit	23,9	4,5

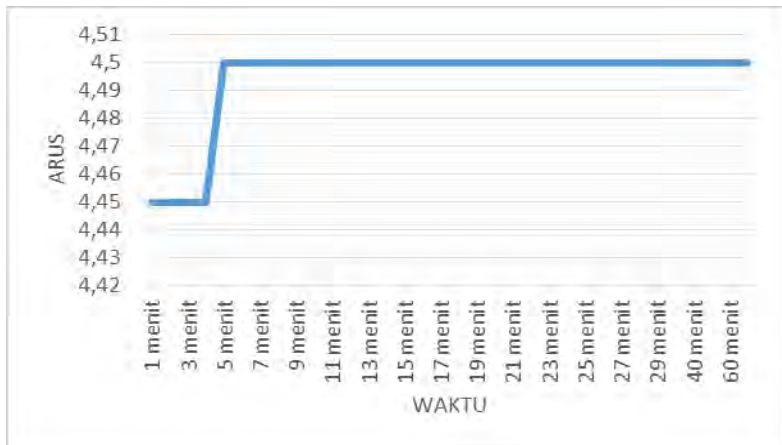


18 menit	23,8	4,5
19 menit	23,6	4,5
20 menit	23,4	4,5
21 menit	23,3	4,5
22 menit	23,2	4,5
23 menit	23	4,5
24 menit	22,9	4,5
25 menit	22,8	4,5
26 menit	22,6	4,5
27 menit	22,5	4,5
28 menit	22,4	4,5
29 menit	22,2	4,5
30 menit	22,1	4,5
40 menit	21,3	4,5
50 menit	20,9	4,5
60 menit	20,4	4,5
75 menit	19,9	4,5

Dari data table 4.3 suhu ruang *box* mampu mencapai suhu yaitu 19,9 °C setelah 75 menit dan ketika *fan* bagian dalam menyala dengan ditandai peningkatan jumlah arus yang dipakai pada metode ini dari 4,45 A menjadi 4,5 A, proses penurunan suhu dalam ruang *box* jauh lebih cepat. Suhu pada ruang *box* terus menurun ketika termoelektrik dan *fan* terus dinyalakan.



**Gambar 4.6** Grafik hasil pengujian suhu dalam *Box*



**Gambar 4.7** Grafik hasil pengujian arus dalam *Box*

Dari tabel 4.3, gambar 4.6, dan gambar 4.7 dengan menggunakan metode ini, suhu di dalam ruang *box* mampu mencapai suhu terendah 19,9 ° C setelah 75 menit. Bahwa untuk menurunkan suhu 10 ° C diperlukan waktu 60 menit.

**Tabel 4.4** Data pengujian suhu peltier dan heatsink pada rancangan *box*

Waktu	suhu ( °C)	Arus ( A)	Termoelektrik Dalam ( °C)	Termoelektrik Luar ( °C)	Suhu Heatsink ( °C)
1 menit	31,3	4,45	-4,7	30,3	27
2 menit	31,2	4,45	-4,8	30,2	27,2
3 menit	31,1	4,45	-4,8	30,2	27,8
4 menit	30,9	4,45	-4,2	30,8	28,5
5 menit	30,6	4,5	-4,4	30,6	28,9
6 menit	28,4	4,5	-4,5	30,5	29,5
7 menit	28	4,5	-4,2	30,8	29,9
8 menit	27,6	4,5	-4,2	30,8	30,2
9 menit	25,1	4,5	-4,1	30,9	30,5
10 menit	25,1	4,5	-4,2	30,8	30,6
11 menit	24,9	4,5	-4,3	30,7	30,7
12 menit	24,7	4,5	-4,4	30,6	30,8
13 menit	24,5	4,5	-4,5	30,5	31
14 menit	24,3	4,5	-4,6	30,4	31,3
15 menit	24,2	4,5	-4,7	30,3	31,4
16 menit	24,1	4,5	-4,4	30,6	31,6
17 menit	23,9	4,5	-4,3	30,7	31,8
18 menit	23,8	4,5	-4,4	30,6	31,9
19 menit	23,6	4,5	-4,5	30,5	32,2
20 menit	23,4	4,5	-4,1	30,9	32,5
21 menit	23,3	4,5	-4,3	30,7	32,9
22 menit	23,2	4,5	-4,1	30,9	33
23 menit	23	4,5	-4,1	30,9	33,4

24 menit	22,9	4,5	-4,3	30,7	33,9
25 menit	22,8	4,5	-4,4	30,6	34,1
26 menit	22,6	4,5	-4,4	30,6	34,5
27 menit	22,5	4,5	-4,5	30,5	35
28 menit	22,4	4,5	-4,1	30,9	35,8
29 menit	22,2	4,5	-4,3	30,7	36,2
30 menit	22,1	4,5	-4,3	30,7	36,8
40 menit	21,3	4,5	-4,4	30,6	37,1
50 menit	20,9	4,5	-4,3	30,7	38,2
60 menit	20,4	4,5	-4,3	30,7	39,1
75 menit	19,9	4,5	-4,1	30,9	40

Dari tabel 4.4 dan tabel 4.2 suhu pada Heatsink Luar makin meningkat ketika sisi panas termoelektrik terus melepaskan kalor dan suhu dalam ruang *box* terus menurun ketika sisi dingin termoelektrik terus menyerap kalor.

## LAMPIRAN A FOTO

**Heatsink dan 1 Kipas Di Bawah Tutup**



**1 Heatsink Besar dan 2 Kipas di atas Tutup**



# LAMPIRAN B DATASHEET

## LM35

www.ti.com

SNVS193D – AUGUST 1989 – REVISED OCTOBER 2001

### LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

#### FEATURES

- Calibrated Directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10 mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at +25°C)
- Rated for Full -55°C to +150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Nonlinearity Only ±¼°C Typical
- Low Impedance Output, 0.1 Ω for 1 mA Load

#### DESCRIPTION

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. Thus the LM35 has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature, and ±½°C over a full -55°C to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 make interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55°C to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a -40°C to +110°C range (±10<sup>-4</sup> with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

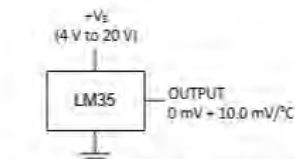
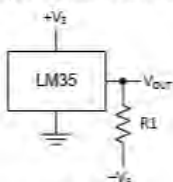


Figure 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose  $R_1 = -V_{S2} / 50 \mu A$   
 $V_{OUT} = 150 \text{ mV at } 150^\circ C$   
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ C$   
 $V_{OUT} = -50 \text{ mV at } -55^\circ C$

Figure 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA: Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

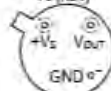
Copyright © 1989–2003, Texas Instruments Incorporated



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

## CONNECTION DIAGRAMS

METAL CAN PACKAGE  
TO-18 (NDV)

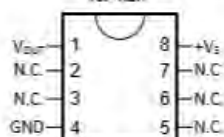


Case is connected to negative pin (GND).

PLASTIC PACKAGE  
TO-52 (LP)  
BOTTOM VIEW

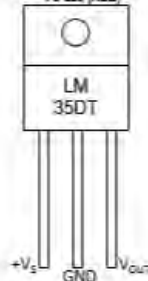


SMALL-OUTLINE MOLDED PACKAGE  
SOIC-8 (D)  
TOP VIEW



N.C. = No connection.

PLASTIC PACKAGE  
TO-226 (NEB)



Tao is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35CP.



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)(2)</sup>**

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage		-0.2	35	V
Output voltage		-1	6	V
Output current			10	mA
Electrostatic discharge (ESD) susceptibility <sup>(2)</sup>			2500	V
Storage temperature	TO Package	-60	180	°C
	TO-52 Package	-60	150	
	TO-220 Package	-65	150	
	SOIC-8 Package	-65	150	
Lead temperature	TO Package (soldering, 10 seconds)		300	°C
	TO-52 and TO-220 Package (soldering, 10 seconds)		260	
	SOIC Package		220	
	Infrared (15 seconds) Vapor phase (60 seconds)		215	
Specified operating temperature range: $T_{min}$ to $T_{max}$ <sup>(3)</sup>	LM35, LM35A	-55	150	°C
	LM35C, LM35CA	-40	110	
	LM35D	0	100	

(1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

(3) Human body model, 100 pF discharged through a 1.5-k $\Omega$  resistor.

(4) Thermal resistance of the TO-48 package is 40°C/W (junction to ambient, and 24°C/W (junction to case). Thermal resistance of the TO-52 package is 100°C/W (junction to ambient). Thermal resistance of the small outline molded package is 307°C/W (junction to ambient). Thermal resistance of the TO-220 package is 50°C/W (junction to ambient). For additional thermal resistance information see table in the APPLICATIONS section.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)(2)</sup>**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	
Accuracy <sup>(5)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$		$\pm 1$	
	$T_A = T_{max}$	$\pm 0.4$	$\pm 1$		$\pm 0.4$	$\pm 1$		
	$T_A = T_{min}$	$\pm 0.4$	$\pm 1$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	
Nonlinearity <sup>(5)</sup>	$T_{min} \leq T_A \leq T_{max}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{min} \leq T_A \leq T_{max}$	$+18$	$+9.5$ $+10.1$		$+10$		$+9.5$ $+10.1$	mV/°C
Load regulation <sup>(7)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1$		$\pm 0.4$	$\pm 1$		mV/mA
	$T_{min} \leq T_A \leq T_{max}$	$\pm 0.5$		$\pm 1$	$\pm 0.5$		$\pm 1$	
Line regulation <sup>(7)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.15$		$\pm 0.01$	$\pm 0.25$		mV/V
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	

(1) Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = 5\text{ Vdc}$  and  $I_{LOAD} = 50\text{ }\mu\text{A}$  in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from  $-2^\circ\text{C}$  to  $T_{max}$  in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

(2) Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

(3) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.

(4) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

(5) Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10 mV/°C times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).

(6) Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.

(7) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)(2)</sup> (continued)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A		LM35CA		UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	
Quiescent current <sup>(4)</sup>	$V_S = 5\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	98	67	36	67	$\mu\text{A}$
	$V_S = 5\text{ V}$	105		31	114	
	$V_S = 30\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	56.2	68	55.2	68	
	$V_S = 30\text{ V}$	105.5		91.5	116	
Change of quiescent current <sup>(2)</sup>	$\pm V \pm V_S \pm 30\text{ V}, 25^\circ\text{C}$	0.2	1	0.2	1	$\mu\text{A}$
	$\pm V \pm V_S \pm 30\text{ V}$	0.5		0.5		
Temperature coefficient of quiescent current		+0.39	+0.5	+0.39	+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+1.5	+2	$^\circ\text{C}$
Long term stability	$T_A = T_{\text{MAX}}$ for 1000 hours	$\pm 0.08$		$\pm 0.08$		$^\circ\text{C}$

(5) Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)(2)</sup>**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35			LM35C, LM35D			UNITS (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	TYP	TESTED LIMIT <sup>(3)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	
Accuracy, LM35C <sup>(5)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1$		$\pm 0.4$	$\pm 1$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		$\pm 1.5$	
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$\pm 0.6$		$\pm 1.5$	
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$\pm 0.9$		$\pm 2$	
Accuracy, LM35D <sup>(5)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$				$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2$	
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2$	
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	
Nonlinearity <sup>(6)</sup>	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	$^\circ\text{C}$
Sensor gain (average slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10	+9.8 +10.2		+10		+9.8 +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load regulation <sup>(7)</sup> $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 2$		$\pm 0.4$	$\pm 2$		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 5$	$\pm 0.5$		$\pm 5$	
Line regulation <sup>(7)</sup>	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		mV/V
	$\pm V \pm V_S \pm 30\text{ V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	

(1) Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A,  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA, and  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = 5\text{ VDC}$  and  $I_{\text{LOAD}} = 50\text{ }\mu\text{A}$  in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from  $-2^\circ\text{C}$  to  $T_{\text{MAX}}$  in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

(2) Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

(3) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.

(4) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

(5) Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10 mV/ $^\circ\text{C}$  times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ ).

(6) Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line over the rated temperature range of the device.

(7) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the thermal dissipation by the thermal resistance.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>(1)(2)</sup> (continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35			LM35C, LM35D			UNIT <sup>(3)</sup> (MAX.)
		TYP	TESTED LIMIT <sup>(2)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	TYP	TESTED LIMIT <sup>(2)</sup>	DESIGN LIMIT <sup>(4)</sup>	
Quiescent current <sup>(2)</sup>	$V_S = 5\text{ V}$ , $25^\circ\text{C}$	55	50		55	50		$\mu\text{A}$
	$V_S = 5\text{ V}$	105		158	91		132	
	$V_S = 30\text{ V}$ , $25^\circ\text{C}$	56.2	52		56.2	52		
	$V_S = 30\text{ V}$	105.5		161	91.5		141	
Change of quiescent current <sup>(2)</sup>	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$ , $25^\circ\text{C}$	0.3	2		0.2	2		$\mu\text{A}$
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	0.5		3	0.5		3	
Temperature coefficient of quiescent current		-0.35		+0.7	-0.35		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2	+1.5		+2	$^\circ\text{C}$
Long term stability	$T_A = T_{\text{USER}}$ for 1000 hours	$\pm 0.05$			$\pm 0.05$			$^\circ\text{C}$

(1) Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

(2) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

## LM35

## APPLICATIONS

The LM35 is applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. Glue or cement the device to a surface and the temperature should be within about  $0.01^\circ\text{C}$  of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature. If the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature, which is especially true for the TO-62 plastic package where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, ensure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the temperature of the LM35 die is not affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, mount the LM35 inside a sealed-end metal tube, and then dip into a bath or screw into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Table 1. Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance,  $\theta_{JA}$ )

	TO, no heat sink	TO <sup>(1)</sup> , small heat fin	TO-32, no heat sink	TO-32 <sup>(1)</sup> , small heat fin	SOIC-5, no heat sink	SOIC-5 <sup>(1)</sup> , small heat fin	TO-220, no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	150°C/W	140°C/W	230°C/W	110°C/W	50°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	30°C/W	70°C/W	105°C/W	50°C/W	25°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	30°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, infinite heat sink)	(24°C/W)				(55°C/W)		

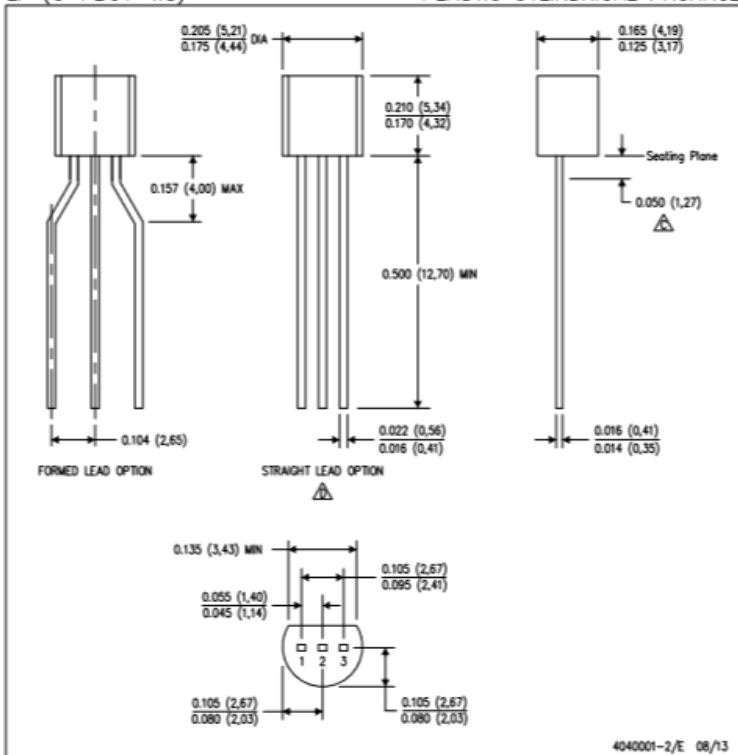
(1) Wakefield type 201, or 1-in disc of 0.02-in sheet brass, soldered to case, or similar.

(2) TO-32 and SOIC-5 packages glued and leads soldered to 1-in square of 1/16-in printed circuit board with 2-oz foil or similar.

## MECHANICAL DATA

LP (O-PBCY-W3)

PLASTIC CYLINDRICAL PACKAGE

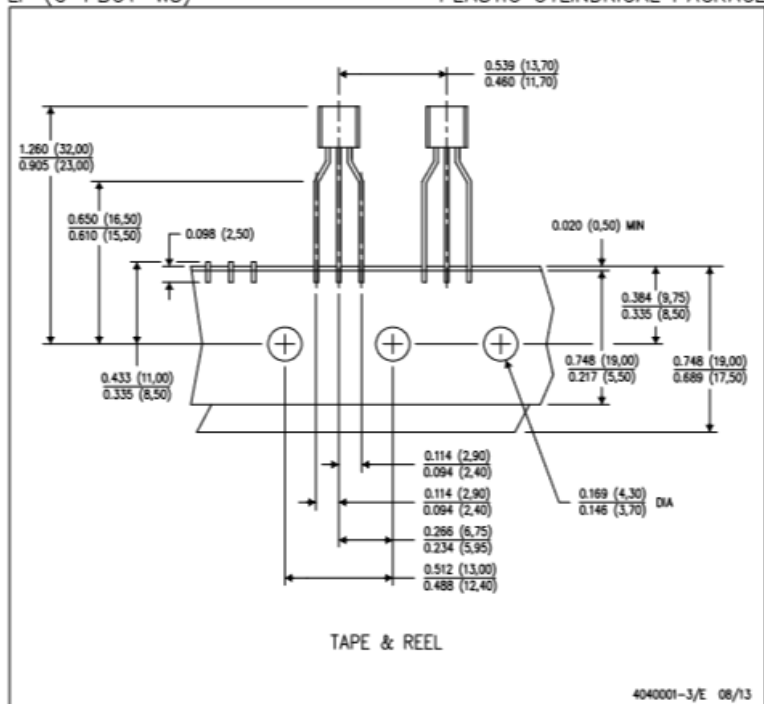


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Lead dimensions are not controlled within this area.
  - D. Falls within JEDEC TO-226 Variation AA (TO-226 replaces TO-92).
  - E. Shipping Method:  
 Straight lead option available in bulk pack only.  
 Formed lead option available in tape & reel or ammo pack.  
 Specific products can be offered in limited combinations of shipping mediums and lead options.  
 Consult product folder for more information on available options.

# MECHANICAL DATA

LP (O-PBCY-W3)

PLASTIC CYLINDRICAL PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Tape and Reel information for the Formed Lead Option package.

Thermoelektrik



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric  
Cooler

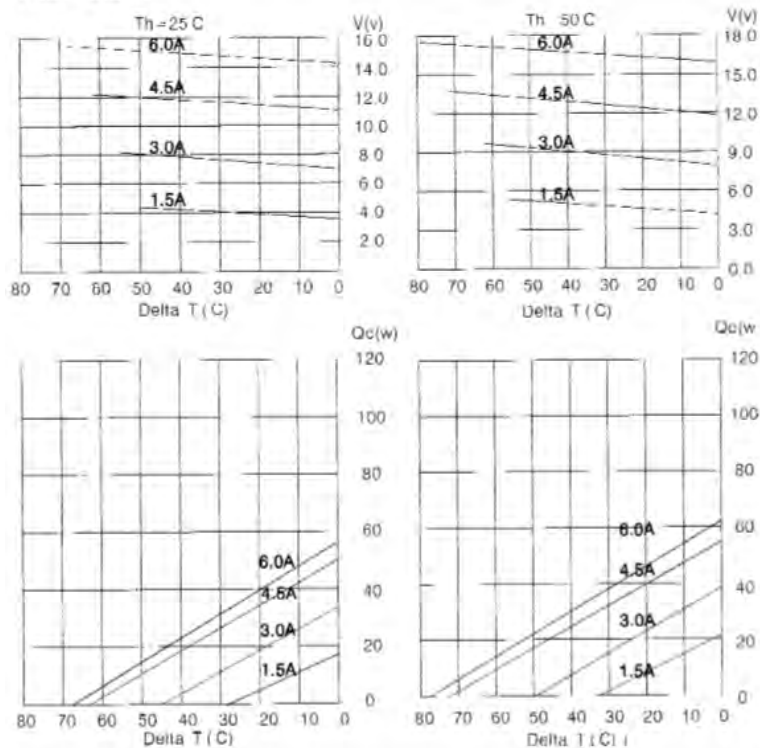
TEC1-12706

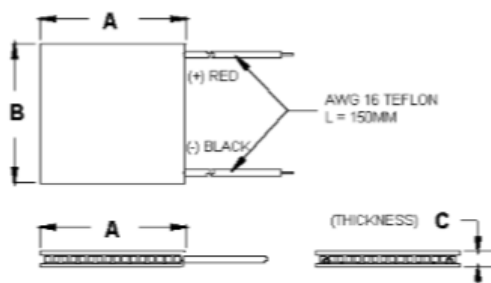
#### Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



Performance curves:





Ceramic Material: Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

#### Size table:

A	B	C			
40	40	3.9			

#### Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed  $I_{\text{max}}$  or  $V_{\text{max}}$  when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

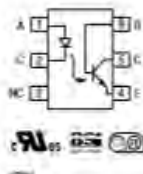


## Optocoupler

### Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



(21462)



(12064)

#### DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

#### FEATURES

- Isolation test voltage 5000  $V_{rms}$
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS  
compliant

#### APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

#### AGENCY APPROVALS

- UL1577, File no. E62744
- BS: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FMKD: EN 60950, EN 60065, EN 60335

#### ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT</b>				
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Surge current	$t \leq 10 \mu s$	$I_{FSM}$	3	A
Power dissipation		$P_{tot}$	100	mW
<b>OUTPUT</b>				
Collector emitter breakdown voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter base breakdown voltage		$V_{EBV}$	7	V
Collector current		$I_C$	50	mA
	$t \leq 1 \text{ ms}$	$I_C$	100	mA
Power dissipation		$P_{tot}$	150	mW

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>COUPLER</b>				
Isolation test voltage		$V_{IS}$	5000	$V_{RMS}$
Creepage distance			2.7	mm
Clearance distance			2.7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			2.0.8	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/MD6 0368, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IS} = 500\text{ V}$ , $T_{amb} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{12}$	$\Omega$
	$V_{IS} = 500\text{ V}$ , $T_{amb} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{11}$	$\Omega$
Storage temperature		$T_{stg}$	-55 to +125	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature		$T_{amb}$	-55 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Junction temperature		$T_j$	125	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature <sup>(2)</sup>	max. 10 s dip soldering; distance to mating plane $\geq 1.5\text{ mm}$	$T_{sld}$	260	$^{\circ}\text{C}$

Notes:

<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of time can adversely affect reliability.

<sup>(2)</sup> Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (THP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS <sup>(1)</sup>							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>							
Forward voltage <sup>(2)</sup>	$I_F = 50\text{ mA}$		$V_F$		1.3	1.5	V
Reverse current <sup>(2)</sup>	$V_R = 3\text{ V}$		$I_R$		0.1	100	$\mu\text{A}$
Capacitance	$V_R = 0\text{ V}$		$C_{IO}$		25		pF
<b>OUTPUT</b>							
Collector base breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$		$BV_{CB}$	70			V
Collector emitter breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_C = 1\text{ mA}$		$BV_{CE}$	30			V
Emitter collector breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$		$BV_{EC}$	7			V
$I_{CE}(dark)$ <sup>(2)</sup>	$V_{CE} = 10\text{ V}$ (base open)	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
$I_{CE}(dark)$ <sup>(2)</sup>	$V_{CE} = 10\text{ V}$ (emitter open)				2	20	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		$C_{CE}$		6		pF
<b>COUPLER</b>							
Isolation test voltage <sup>(2)</sup>	Peak, 60 Hz		$V_{IS}$	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	$I_C = 2\text{ mA}$ , $I_E = 50\text{ mA}$		$V_{CE(sat)}$			0.5	V
Resistance, input/output <sup>(2)</sup>	$V_{IS} = 500\text{ V}$		$R_{IO}$	100			$\Omega$
Capacitance, input/output	$f = 1\text{ MHz}$		$C_{IO}$		0.6		pF

Notes:

<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

<sup>(2)</sup> JEDEC registered values are 7500 V, 1300 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.

CURRENT TRANSFER RATIO [1]							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 10 \text{ mA}$	4825	$CTR_{DC}$	20	50		%
		4826	$CTR_{DC}$	20	50		%
		4827	$CTR_{DC}$	10	30		%
		4828	$CTR_{DC}$	10	30		%

Note

[1] Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Turn on and fall times	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 10 \text{ mA}, R_L = 100 \Omega$	$t_r, t_f$		2		$\mu\text{s}$

### TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

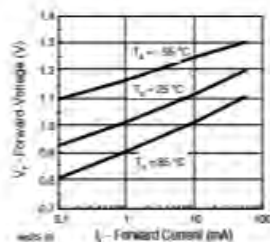


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

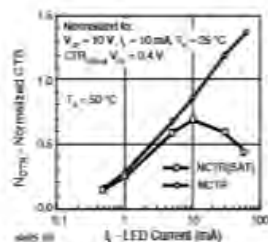


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

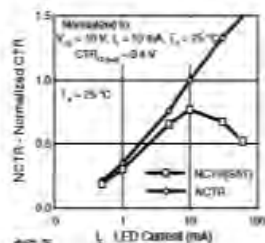


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

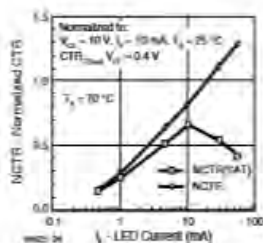


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

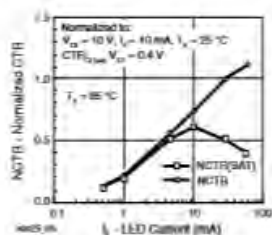


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated GTR vs. LED Current

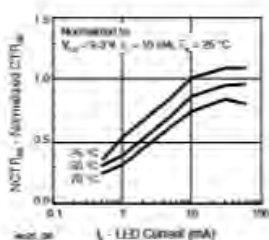


Fig. 8 - Normalized GTR vs. LED Current and Temperature

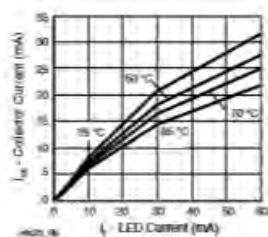


Fig. 6 - Collector-Emitter Current vs. Temperature and LED Current

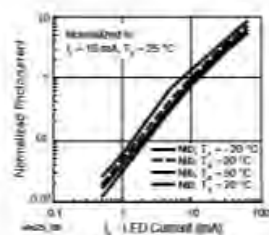


Fig. 9 - Normalized Photocurrent vs.  $I_D$  and Temperature

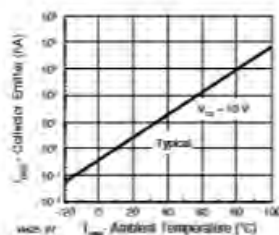


Fig. 7 - Collector-Emitter Leakage Current vs. Temperature

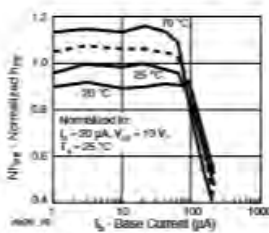


Fig. 10 - Normalized Non-Saturated  $h_{FE}$  vs. Base Current and Temperature

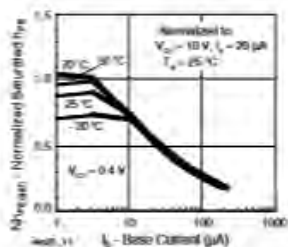


Fig. 11 - Normalized  $f_T$  vs. Base Current and Temperature

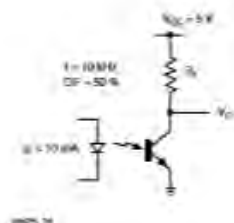


Fig. 14 - Switching Schematic

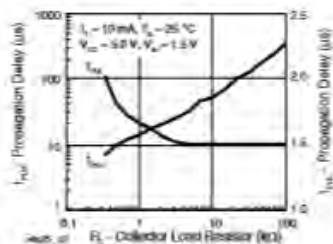


Fig. 12 - Propagation Delay vs. Collector Load Resistor

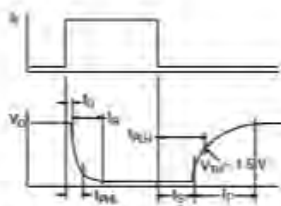
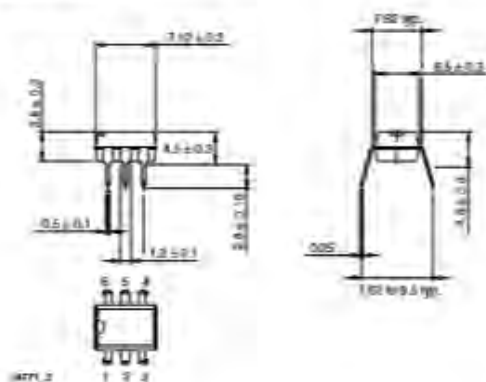
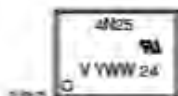


Fig. 13 - Switching Timing

# **PACKAGE DIMENSIONS** in millimeters



# **PACKAGE MARKING**



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Dari hasil pengujian suhu pada gambar 4.3 dapat diambil kesimpulan bahwa Termoelektrik mampu mencapai suhu terendah yaitu  $-4,9^{\circ}\text{C}$  pada waktu 1 menit 50 detik namun kembali naik menjadi  $-4,2^{\circ}\text{C}$  setelah 4 menit dijalankan, ketika termoelektrik digunakan untuk mendinginkan di dalam ruang *box* seperti pada gambar 4.5, suhu terendah di dalam ruang *Box* mencapai  $19,9^{\circ}\text{C}$  setelah 75 menit. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa dengan mengontrol penyalan kipas yang berada dibagian dalam bisa mempengaruhi proses penurunan suhu yaitu ketika sensor *lm 35* mendeteksi suhu yang telah ditentukan pada program mikrokontroler, kipas di dalam mulai menyala dan proses penurunan suhu menjadi lebih cepat dari sebelumnya.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu menambahkan bahan-bahan seperti pasta khusus elektronik yang ditempelkan pada bagian sisi panas termoelektrik untuk menghilangkan panasnya. Selain itu, juga perlu ditambahkan beberapa variasi perancangan lain pada *Kulkas Portable* guna menguji tingkat suhu dingin yang dihasilkan Termoelektrik.



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Masimo, B , "*Getting Started With Arduino*", O'Reilly, New Jersey, 2nd Edition, 2011.
- [2] Benyta, W, A, P. dan Ade, I. , "*Rancang Bangun Portable Cool Storage Menggunakan PLC*", *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011.
- [3] Petruzella, Frank D, "*Elektronika Industri*", Andi, Yogyakarta, 1996.
- [4] Djafar, Zuryati, "Pengantar Termoelektrik". Karya Tulis Ilmiah Program Doktor Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, 2008.
- [5] Rosa, Aldo Viera da. "Fundamentals of Renewable Energy Processes", second edition. Academic Press. United States of America. 2009.
- [6] Al-Kaby, Rehab N M. "Study Of Thermal Performance of Thermoelectric Cooling System. Mechanical department", Babylon University-College of Engineering.
- [7] Jaworski, Christopher M. "Opportunities for Thermoelectric Energy Conversion in Hybrid Vehicles". The Ohio State University. Department of Mechanical Engineering. 2007.
- [8] Riffat, S.B., Ma X. 2003. Review: Thermoelectrics: a review of present and potential applications. Applied Thermal Engineering 23 913– 935.Pergamon-Elsevier Science Ltd.
- [9] Çengel,Yunus A. and Boles,M. A.. "Thermodynamics: An Engineering Approach", 5th ed, McGraw-Hill. 2006.
- [10] Maneewan,S., Tipsaenprom,W and Lertsatitthanakorn,C. "Thermal Comfort Study of a Compact Thermoelectric Air Conditioner", Journal of Electronic Materials, Vol. 39, No. 9, , DOI: 10.1007/s11664-010-1239-8. 2010.
- [11] Amrullah, "Uji Eksperimental Kinerja Termoelektrik Pada Pendingin Dispenser Air Minum", *Tesis*, Universitas Hasanudin Makassar, Makassar, 2013.
- [12] H. J.Goldsmid, Introduction to Thermoelectricity, London, 2009.

- [13] Cindy, T.A., 2011, “Kefektifan Styrofoam Sebagai Material Kulit Bangunan Menginsulasi Panas”, prosiding seminar nasional avoer ke-3, Palembang, 26-27 Oktober.
- [14] Onoroh, F, Chukuneke, J, L, and Itoje, H, J, “Performance Evaluation of a Thermoelectric Refrigerator”, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 7, January 2013.
- [15] Nofrizal, “Perancangan Thermal dan Elektrikal Solar Cold Storage Untuk Kapal Nelayan Tradisional”, *Skripsi*, FT UI, 2008.

## **DAFTAR RIWAYAT HIDUP**



Nama : Restu Maulana Ilham  
TTL : Gresik, 19 februari 1995  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Alamat : Perum GKGA blok CD-  
19, Kedanyang. Gresik.  
Telp/HP : 083856555385  
E-mail : restusilent@gmail.com

### **RIWAYAT PENDIDIKAN**

1. 2001 – 2007 : SDNU 1 TERATE GRESIK
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 2 Gresik
3. 2010 – 2013 : SMA Negeri 1 Kebomas
4. 2013 – 2016 : D3 Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro Industri - FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

### **PENGALAMAN KERJA**

1. Kerja Praktek di Petrokima Gresik, Jawa Timur

### **PENGALAMAN ORGANISASI**

1. Ketua Pecinta Alam GREEN LAND JAVA (2011-2012)
2. Staff Departemen pendidikan keilmiahan dan teknologi BEMFTI-ITS(2014-2015)
3. Ketua Forum Komunikasi (FORKOM) D3 Teknik Elektro Industri (2015-2016)

**-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Aji Dwi Pebrianto  
TTL : Ponorogo, 14 Februari 1995  
Jenis Kelamin: Laki - Laki  
Agama : Islam  
Alamat : Jalan Hasanudin RT 02 RW  
02, Desa Kauman, Kec.  
Kauman, Ponorogo  
Telp/HP : 085736475246  
E-mail : ajiidwifebriano@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SD Negeri 1 Kauman
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 6 Ponorogo
3. 2010 – 2013 : SMA Negeri 1 Badegan
4. 2013 – 2016 : D3 Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro Industri - FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

### PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. INKA, Madiun, Jawa timur

### PENGALAMAN ORGANISASI

-